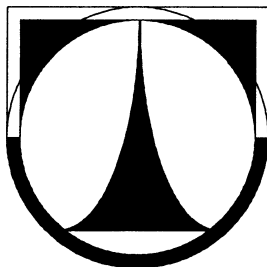


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**TECHNIKA PRO MĚŘENÍ PLYNNÝCH A PEVNÝCH EMISÍ
VÝFUKOVÝCH PLYNŮ**

**FACILITIES FOR MEASUREMENT OF GASEOUS AND
SOLID EMISSIONS OF EXHAUST GAS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

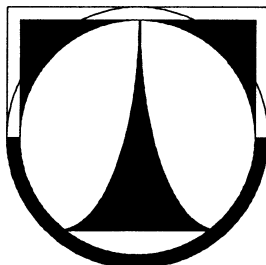
Stanislav Prýl

2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 2302R022

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**TECHNIKA PRO MĚŘENÍ PLYNNÝCH A PEVNÝCH EMISÍ
VÝFUKOVÝCH PLYNŮ**

Bakalářská práce

KSD – BP – 124

Stanislav Prýl

Počet stran : 54

Počet obrázků: 27

Počet příloh : 7

2007

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Technika pro měření plynných a pevných emisí výfukových plynů

Anotace

Bakalářská práce shrnuje problematiku vzniku plynných emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů. Pojednává o principech měření jednotlivých složek emisí a uvádí seznam všech přístrojů pro analýzu výfukových plynů v laboratoři KVM. Dále se v praktické části vyhodnocují a zpracovávají hodnoty emisí naměřených na motoru Škoda 1,4 MPI a popisuje se postup cejchování analyzátorů.

Klíčová slova: plynné emise, cejchování

Facilities for measurement of gaseous and solid emissions of exhaust gas

Annotation

My bachelor work summarizes questions of origination of gas emission in exhaust gas of gas engines. It describes the principle of measurement of particular components of emission and introduces a list of all devices used for exhaust gas analysis in laboratory KVM. In the practical part there are the measured emission values of engine Škoda 1,4 MPI analysed. Also the principle of analyzer calibration is described.

Key words: gas emission, calibration

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Dr. Ing. E. Tomehovi za odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svému konzultantovi bakalářské práce Ing. J. Blažkovi při vypracovávání seznamu přístrojů pro analýzu výfukových plynů, pomoci při cejchování analyzátorů a za jeho odbornou pomoc.

Obsah

1. Úvod	11
2.0.Charakteristika základních plynných látek	12
2.1. Oxid uhelnatý	12
2.2. Oxidy dusíku	12
2.3. Pevné částice	13
2.4. Nespálené uhlovodíky.....	13
2.5. Oxid uhličitý	13
3.0. Vznik škodlivin a způsoby snižování výfukových emisí	14
3.1. Všeobecně.....	14
3.2. Benzinové zážehové motory	16
3.3. Vznětové motory	17
3.4. Motory na alternativní paliva	18
3.5. Dodatečná úprava spalin	20
4.0. Limity výfukových škodlivin.....	22
5.0. Dělení analyzátorů podle principu měření	24
5.1. Optické metody	25
5.1.1. Absorpce světla.....	25
5.1.2. Fotometrie v infračervené oblasti	26
5.1.2.1. Potlačení vlivu rušivých složek.....	27
5.1.3. Fotometrie v ultrafialové oblasti.....	28
5.2. Chemiluminiscenční analyzátory	28
5.3. Analyzátory s ionizací v plameni.....	29
5.4. Magnetické analyzátory	30
5.5. Měření emisí pevných částic.....	31
6.0. Kalibrace a cejchování analyzátorů	32
7.0. Seznam přístrojů	32
7.1. Schémata možného zapojení analyzátorů	34
8.0. Ověření funkčnosti zapojení analyzátorů.....	36
8.1. Provozní a kalibrační plyny	40
8.2. Příprava k měření	41
8.3. Kalibrace jednotlivých analyzátorů.....	41

8.4. Měření na motoru 1,4 MPI	43
8.5. Ukončení měření	44
9.0. Zpracování naměřených dat	45
10.0. Cejchování analyzátorů	50
10.1. Cejchování vybraných analyzátorů	51
11.0. Závěr	52
Seznam použité literatury	53
Přílohy	54

Seznam použitých zkratk a veličin

CO	oxid uhelnatý	
CO ₂	oxid uhličitý	
C ₃ H ₈	propan	
CO _{nam}	koncentrace oxidu uhelnatého	[%]
EK	Evropská komise	
EHK	Evropská hospodářská komise	
HC	nespálené uhlovodíky	
HC _{nam}	koncentrace nespálených uhlovodíků	[ppm]
h _v	energetické kvantum	
H ₂	vodík	
K _{H,D}	korekční faktor vlhkosti	[-]
L _{vt}	teoretická spotřeba vzduchu na spálení 1 kg paliva při stechiometrické směsi	[kg/kg]
LPG	tekuté rafinérské plyny	
MPI	vícebodové vstřikování	
M _t	točivý moment	[Nm]
M _{spal w}	hmotnost vlhkých spalin	[kg/h]
n _m	otáčky motoru	[1/min]
NO _x	oxidy dusíku	
NO	oxid dusnatý	
NO ₂	oxid dusičitý	
N ₂ O	oxid dusný	
NG	zemní plyn	
N ₂	dusík	
NO _{x nam}	koncentrace oxidů dusíku	[ppm]
O ₃	ozón	
OSN	Organizace spojených národů	
PM	pevné částice	
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky	
Pe	efektivní výkon	[kW]
Pd	palladium	
Pt	platina	

ppm	Parts per million	[1% = 10 000 ppm]
p_{sani}	tlakový spád na clonce	[Pa]
p_e	střední efektivní tlak	[Pa]
$P(n)_i$	nekorigovaný netto výkon	[kW]
p_b	barometrický tlak	[Pa]
Rh	rhodium	
t_{1w}	teplota chladící kapaliny před chladičem	[°C]
t_{2w}	teplota chladící kapaliny za chladičem	[°C]
$t_{1\text{výf}}$	teplota výfukových plynů před katalyzátorem	[°C]
$t_{2\text{výf}}$	teplota výfukových plynů za katalyzátorem	[°C]
V_m	zdvihový objem motoru	[m ³]
W_i	indikovaná práce	[J]
WF_i	váhový faktor pro určitý režim	[-]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
η_c	celková účinnost	
Φ	vlhkost vzduchu	[%]
ρ_{pal}	hustota paliva	[kg/m ³]
ρ_{co2}	hustota oxidu uhličitého	[kg/m ³]
$\rho_{\text{spal w}}$	hustota vlhkých spalin	[kg/m ³]

1.0. Úvod

Všechny dále uvedené úvahy jsou za předpokladu, že výfukové plyny jsou směsí produktů chemické reakce uhlovodíkového paliva a vzduchu.

Spalováním paliva a vzduchu vznikají u zážehových i vznětových motorů plynné emise, které jsou škodlivé a působí negativně na životní prostředí. Analýza obsahu spalin je významnou součástí výzkumu, vývoje a provozního sledování vlastností spalovacích motorů. Emise škodlivin je důležitým parametrem motoru. Splnění požadavků na hladinu emisí škodlivin (součástí legislativy a směrnic v každém státu) je jedním z dílů schvalovacího řízení, před uvedením výrobku do výroby. Tyto parametry jsou dobrým ukazatelem kvality spalovacího procesu.

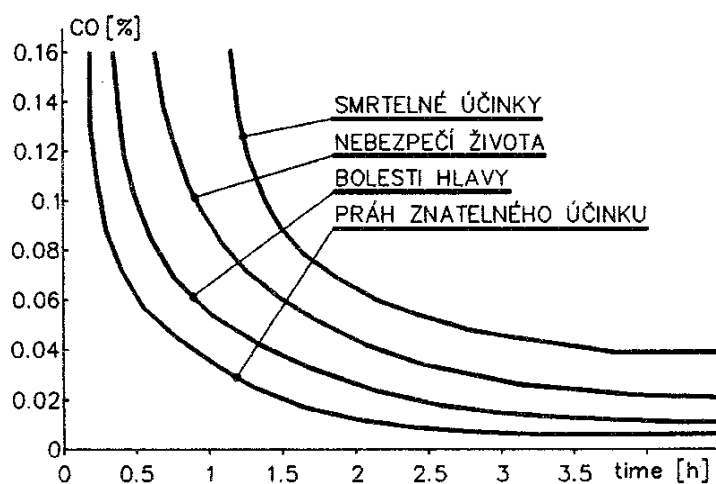
Před homologací a i během provozování motoru se sledují nejvýznamnější škodlivé plynné a pevné emise, mezi které patří, oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), nespálené uhlovodíky (HC) a řada toxických organických látek vázaných na pevné částice (PM). Dále je sledován oxid uhličitý (CO₂), který není legislativně omezen a není přímou škodlivinou, ale přispívá k tvorbě tzv. skleníkového efektu.

Tato bakalářská práce pojednává o vzniku plynných emisí ve výfukových plynech spalovacích motorů. O principech měření jednotlivých složek emisí. Dále popisuje provozní parametry a technické údaje analyzátorů. Obsahuje přehled přístrojového vybavení, které používá Katedra motorových vozidel při měření emisí.

2.0. Charakteristika základních plynných látek

2.1 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) vzniká při nedokonalém spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem za nedostatku kyslíku. Jedná se o nejjedovatější složku výfukových plynů, která je bez zápachu a bez chuti. Na krevní barvivo se váže lépe než kyslík a tím omezuje okysličování krve a orgány jsou poškozovány nedostatkem kyslíku. Nejcitlivějším orgánem na nedostatek kyslíku je mozek, proto je brán oxid uhelnatý jako nervový plyn. V přítomnosti oxidu uhličitého se jeho škodlivost zvyšuje a hraniční koncentrace je 60 mg/m^3 . Oxid uhelnatý se dále podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu.



Obr. 1 Účinek oxidu uhelnatého na lidský organismus. [2]

2.2 Oxidy dusíku

Jedná se skupinu škodlivin do které patří **oxid dusný** (N_2O), který není toxický, **oxid dusnatý** (NO) a **oxid dusičitý** (NO_2) oba jsou toxické. Oxidy dusíku vznikají v motorech za vysokých teplot a tlaků. Oxid dusnatý v atmosférických podmínkách oxiduje na NO_2 , který poškozují sliznici, snižuje odolnost proti infekcím a při proniknutí do lidského organismu způsobí dezinformaci regulační soustavy, která reaguje přivřením přístupu vzduchu do plic. Způsobuje tím dušnost a nucení ke kašli. Nespálené uhlovodíky se dostaly do seznamu sledovaných škodlivin kvůli tomu, že při vhodné teplotě a působení slunečního záření vzniká smog s přízemním ozónem. Ozón (O_3) působí jako silné oxidovadlo a devastuje buněčné tkáně vegetace.

2.3 Pevné částice

Jedná se o částice emitované vznětovými motory obsahují pevné i kapalné fáze (uhlík ve formě sazí, karbon, oxidy síry, aerosoly). Tyto samotné částice nejsou toxické. Na pevných částicích se ovšem usazují těžko odpařitelné skupiny nespálených uhlovodíků (PAH). Jejich nebezpečí spočívá ve snadném vdechování a následném usazování v plicních sklípcích, kde dlouhodobě umožňují působit karcinogenům.

2.4 Nespálené uhlovodíky

Vznikají dvojím způsobem buď z paliva nebo z mazacího oleje. Jedná se o skupinu škodlivin, která je tvořena směsí individuálních složek jejichž škodlivost je různá.

a) z paliva: ve spalínách se objevují u motorů s vnější tvorbou směsi z důvodu úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového potrubí nebo předčasně zastavené oxidace v některých částech spalovacího prostoru (vliv konstrukce spalovacího prostoru s uložením pístu a prvního pístního kroužku). Další vliv na obsah HC má bohatost směsi a kvalita paliva, které ovlivňují rychlost hoření ve válci.

b) z mazacího oleje: patří do skupiny nejtěžších uhlovodíků se zvýšeným podílem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH). Jsou ve spalínách obsaženy jako aerosol (těžká odpařitelnost), která se často ve spalínách váže na pevné částice (PM).

Přípustné koncentrace těchto složek se určují podle čichového prahu, nikoli podle toxických účinků. Nespálené uhlovodíky (aldehydy) dráždivě působí na živou tkáň především pak na sliznici a oči. U formaldehydů byly prokázány mutagenní účinky a mohou mít karcinogenní účinek. Zdravotně nejnebezpečnější jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, které mají prokazatelné rakovinotvorné účinky.

2.5 Oxid uhličitý

Jedná se o látku velmi stabilní a málo reaktivní je výsledkem dokonalé oxidace a je tedy ukazatelem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Jeho

toxicita je nevýznamná do chvíle než dosáhne koncentrace kyslíku ve vdechovaném vzduchu a začne kyslík vytěsňovat. Oxid uhličitý (CO_2) negativně působí na životní prostředí vytvářením clony, která omezuje vyzařování tepla ze Země zpět do vesmíru. To vede k průběžnému zvyšování teploty. Obecně vžitý název pro tento jev je *skleníkový efekt*. Skleníkový efekt je podporován i fotochemicky produkovaným přízemním ozónem. Na jeho vzniku se podílejí látky, které jsou emitovány ve výfukových plynech spalovacího motoru NO_x a těkavé organické látky. Oxid uhličitý není uveden v seznamu škodlivin. V současnosti není emise této látky administrativně limitována. Je zde, ale úsilí o snížení emisí skleníkových plynů, který navrhla Evropská komise (EK) a byl zveřejněn 7. února 2007 (na snížení limitu emisí CO_2 pro osobní automobily na 130 g/km do roku 2012). K tomuto návrhu měly řadu výhrad (pro skokové zpřísnění nynějších norem, povinnost jen pro evropské výrobce, zvýšené náklady z realizace tohoto návrhu by mohly vést k útlumu výroby) především země s vysokým podílem ekonomiky závislém na automobilovém průmyslu.

3.0. Vznik škodlivin a způsoby snižování výfukových emisí

3.1 Všeobecně

Oxid uhelnatý je produktem nedokonalé oxidace uhlíku obsaženého v palivu. Hlavní příčinou jeho vzniku ve spalínách je nedostatek kyslíku ve spalované směsi, tedy provoz při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$. Koncentrace oxidu uhelnatého při spalování bohaté směsi v zážehovém motoru dosahuje jednotek %, výjimečně překročí 10%. Při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru se přírodní síly brání dalšímu zvyšování teplot, termodynamická rovnováha se posouvá směrem k většímu obsahu vstupních látek. Složení rovnovážné směsi je jednoznačně určené stavovými vlastnostmi reagující směsi (tlak a teplota) a celkovou hmotnostní prvků ve směsi. Pro stanovené podmínky můžeme koncentraci složek v rovnovážné směsi vypočítat.

V některých případech se ovšem naměří ve spalínách koncentrace CO vyšší než jaká vychází z výpočtu rovnovážného složení. Zde je příčinou nedostatečná

reakční rychlost jednotlivých dílčích reakcí oxidace uhlovodíkového paliva. Zpomalení reakcí ve fázi, kdy má dojít k oxidaci CO na CO₂ je pak příčinou výskytu CO ve výfukových plynech.

Příčiny emisí **nespálených uhlovodíků**, které jsou rovněž produktem nedokonalého průběhu oxidace. Koncentrace uhlovodíků při spalování extrémně chudé směsi (nízká reakční doba) je srovnatelná s emisí uhlovodíků při spalování bohaté směsi. Zvyšuje se vliv oblastí s nízkou teplotou hoření (v blízkosti stěn, v prostoru mezi stěnou válce a pístem s prvním pístním kroužkem) pro tyto prostory se používá název *zhášecí zóny*. Uhlovodíky jsou přítomny v čerstvé směsi ještě před zahájením spalovacího procesu. Část emisí nespálených uhlovodíků je u motorů s vnější tvorbou směsi vyvolána ztrátou paliva při zkratovém vyplachování (překrývání ventilů), kdy složky paliva se nezúčastní oxidace ve spalovacím prostoru. Oxid uhelnatý a nespálené uhlovodíky jsou palivy a jejich výskyt ve spalínách znamená energetickou ztrátu a nežádoucí vliv na životní prostředí.

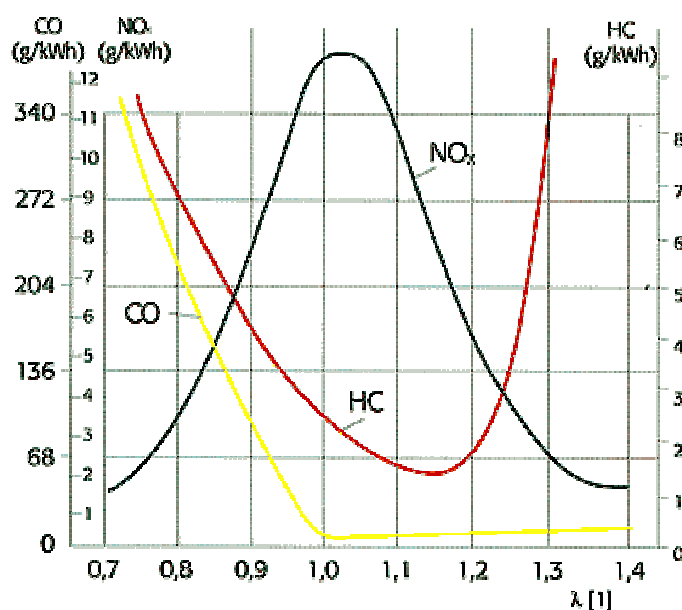
Oxidy dusíku vznikají oxidací vzdušného dusíku dodávaného do válce motoru společně s kyslíkem, který je potřebný pro oxidaci paliva. Klíčovým procesem z hlediska přítomnosti oxidů dusíku ve výfukových plynech při spalování stechiometrické směsi je výskyt vysoké rovnovážné koncentrace NO ve fázi pracovního oběhu s vysokou teplotou, následovaný snížením reakční rychlosti rozložení NO po poklesu teploty (expanze).

Pevný uhlík vzniká při spalování v motoru vysokotepeelnou dekompozicí uhlovodíkových molekul bez přístupu kyslíku. Emise pevného uhlíku tedy souvisí s kvalitním rozprášením paliva při vstřikování do spalovacího prostoru vznětového motoru. S rostoucí hodnotou λ (součinitele přebytku vzduchu) dochází ke snižování množství emise pevných částic v důsledku lepšího přísunu kyslíku k částicím paliva. Vznětové motory i při plném zatížení pracují se součinitelem přebytku vzduchu.

Oxid uhličitý je produktem dokonalé oxidace uhlovodíkového paliva a jeho vysoký obsah ve výfukových plynech svědčí o dokonalosti spalovacího procesu jak po energetické tak i emisní stránce. Snížení produkce CO₂ je možné jen za předpokladu celkového snížení spotřeby paliva nebo nahrazením uhlovodíkových paliv (vodík) či snižováním obsahu uhlíku v palivu (NG).

3.2 Benzinové zážehové motory

Koncentrace škodlivin ve výfukových plynech je závislá na složení spalované směsi a na teplotě v spalovacím prostoru. Teplota je funkcí energetické hustoty směsi – směšovacího poměru. Proto je hlavním faktorem složení spalin součinitel přebytku vzduchu (λ).



Obr. 2 Závislost hlavních škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu λ u zážehových motorů.

[8]

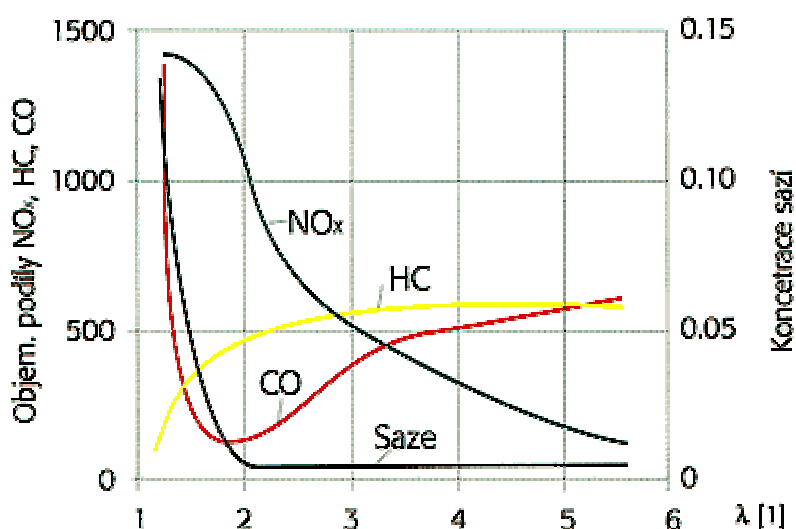
Z obr. 2 je vidět, že v oblasti bohaté meze zápalnosti se zhoršují všechny vlastnosti motoru a je tedy nezajímavá z praktického hlediska užívání. Zde je zaznamenán velký nárůst koncentrace CO a HC při nedostatku kyslíku v oblasti, kdy je $\lambda < 1$ a maximum koncentrace NO_x při spalování mírně chudé směsi, kde se kombinuje vysoká teplota s dostatkem kyslíku.

Při konvenčním návrhu charakteristiky palivové soustavy se jednotlivým režimům práce motoru přidělují směšovací poměry z oblasti mezi maximem p_e a maximem η_c nebo při zahrnutí koncentrací škodlivin do seznamu kritérií lze provést optimalizaci mezi emisí CO a NO_x v oblasti kolem hodnoty $\lambda = 1$. V praxi musíme vzít v úvahu ještě vliv okamžiku zážehu směsi, kdy se nám zvyšují emise NO_x a prvky nedokonalé oxidace. Na druhou stranu nám s poklesem zatížení (přivírání škrtící klapky) klesá koncentrace NO_x v celém rozsahu charakteristiky (vyšší odvod tepla chlazením má za následek ochlazení pracovní látky).

Opatření, která vedou ke snížení produkce škodlivin při spalování směsi $\lambda = 1$ lze zajistit homogenitou směsí, kterou dnes umožňují moderní vícebodové vstřikovací systémy (MPI - multi point injection). Vnitřní opatření v motoru k ovlivnění průběhu spalování je tvar spalovacího prostoru, umístění zapalovací svíčky a usměrnění pohybu náplně ve válci motoru.

3.3 Vznětové motory

Na obr.3 je znázorněna závislost hlavních škodlivin u vznětového motoru s atmosférickým plněním na složení směsi. Nejvyšší hodnota λ na obr.3 je dána nejnižším zatížením motoru, jinak vznětový motor může pracovat se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = \text{cca } 10$ (běh motoru naprázdno = volnoběh).



Obr. 3 Závislost hlavních škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu λ u vznětového motoru [8]

Emise pevných částic (pevný uhlík ve formě sazí) je na obr. 3 znázorněn jako koncentrace sazí, tuto hodnotu lze vypočítat pomocí absorpčního součinitele (k).

$$k = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad [\text{m}^{-1}; \text{m}; -] \quad (1)$$

kde:

- k ... absorpční koeficient [m^{-1}]
- L ... délka optické dráhy – vzdálenost žárovky a fotonky
- N ... údaj opacimetru v HSU

Jedná se o prosvěcování sloupce spalin viditelným světlem a zjištění prošlého množství záření, stupnice přístroje je rozdělena na 100 dílků (HSU – Hartridge Smoke Unit). Koncentrace pevného uhlíku stoupá se snižujícím se přebytkem vzduchu.

Hodnoty koncentrace CO jsou oproti benzinovému motoru výrazně nižší, vzhledem k vyšším hodnotám součinitele přebytku vzduchu. S poklesem zatížení nám klesá i teplota a zvyšuje se nám přbytek vzduchu to má za následek pomalé zvyšování koncentrace CO.

Univerzálním prostředkem ke snižování koncentrace škodlivin ve výfukových plynech vznětového motoru je stálé zajištění vysoké hodnoty součinitele přebytku vzduchu. Při současném požadavku na dosažení vysoké hodnoty středního efektivního tlaku se jeví jako výhodné použití přeplňování a chlazení plnicího vzduchu.

Energetické i emisní vlastnosti motoru lze v širokých mezích ovládat návrhem tvaru spalovacího prostoru, usměrněním a intenzitou pohybu náplně, velikostí a nasměrováním vstřikovacích trysek, velikostí vstřikovacího tlaku a dobou vstřiku paliva. Některé z těchto veličin se ovšem také mění samovolně v závislosti na okamžitém režimu běhu motoru.

3.4 Motory na alternativní paliva

Jednou z cest ke zlepšování emisních parametrů motoru jsou náměty na použití alternativních paliv. Mechanismus jejich skutečných uplatnění a jejich ekologických předností je různý. Některá paliva svým složením přímo příznivě ovlivňují některé emisní parametry.

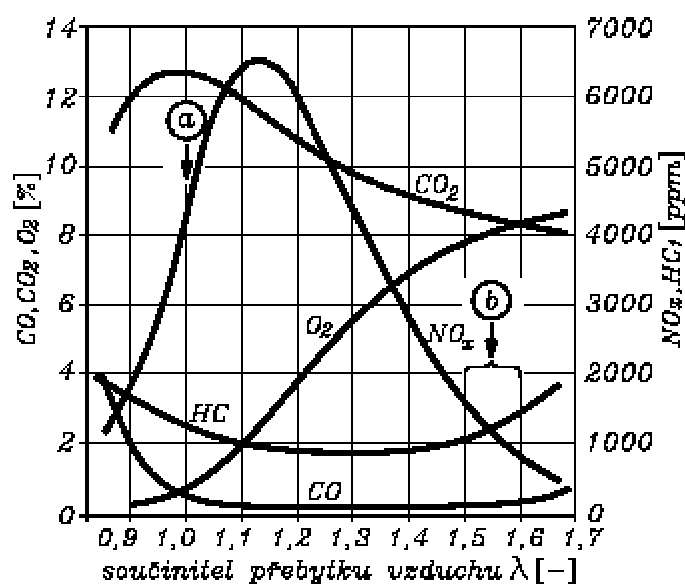
Nejrozšířenějším alternativním motorovým palivem jsou v současnosti tekuté rafinérské plyny (LPG), ale zvyšuje se i počet vozidel poháněných zemním plynem (NG). Jako palivo budoucnosti ukazují odborné studie vodík (patří do kategorie obnovitelných zdrojů).

Pro použití plyných paliv v pístových spalovacích motorech hovoří jejich schopnost snadno tvořit kvalitní směs vně i uvnitř válce motoru, široké rozmezí zápalnosti s ohledem na bohatost směsi, vysoká výhřevnost a vysoká antidetonační odolnost plyných paliv. Tyto vlastnosti umožňují realizovat pracovní

oběh motoru s relativně vysokým kompresním poměrem a tedy s předpokladem vysoké celkové účinnosti motoru. Plyná uhlovodíková paliva mají proti klasickým kapalným palivům nižší produkci hygienicky nejrizikovějších škodlivin. Především velmi nízké emise pevných částic (PM) a polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), nízký obsah síry a spalování prakticky homogenní směsi. Předností paliv s vysokým obsahem metanu (zemní plyn, bioplyn) je menší koncentrace emise CO_2 (díky nižšímu podílu uhlíku v palivu) a nižší reaktivita nespálených uhlovodíků na tvorbu letního smogu. Další výhodou plyných paliv je nutnost dokonalé těsnosti palivového systému.

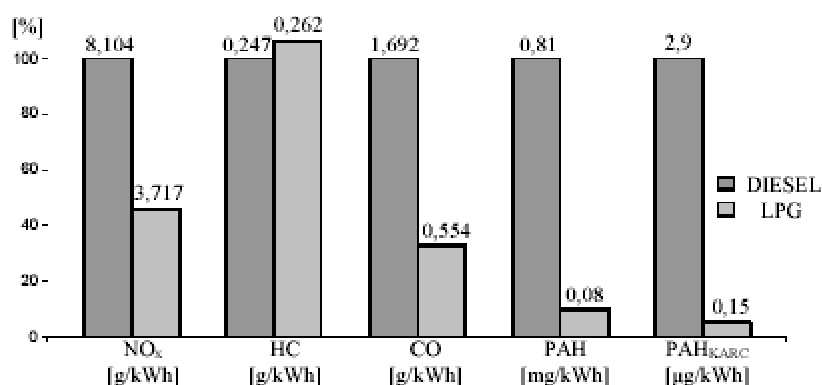
Spalování palivo - vzdušných směsí, o vzniku škodlivin při hoření těchto směsí a o opatřeních pro minimalizaci výfukových emisí vedou technická řešení nízkoemisních motorů k typu zážehových motorů a určují dva možné koncepty (závislé na původním palivu a alternativním palivu a na provedení motoru).

- a) Seřízení a provoz motoru na stechiometrickou směs ($\lambda = 1$ ve všech provozních režimech). Bohatost směsi řídí elektronická jednotka a nízké výfukové emise jsou zajištěny tříložkovým katalyzátorem. Pro tuto koncepci jsou vhodná paliva (LPG, NG) a lze je použít pro nepřepřehované i přepřehované motory.
- b) Seřízení a provoz plynového motoru na chudou směs s řízenou bohatostí směsi na zatížení motoru (volnoběh $\lambda = 1$ až 1,15, zatížení $\lambda = 1,45$ až 1,55). Tato varianta plynového zážehového motoru se používá při konverzi původně naftového motoru s přepřehováním. Pro snížení emisí HC a CO je používán oxidační katalyzátor.



Obr. 4 Závislost koncentrace emisí výfukových plynů na bohatosti spalované směsi. [10]

Ekologické výhody plyných paliv proti klasickým kapalným palivům byly prokázány výzkumem. Při použití alternativních paliv náhradou za původní benzinové palivo u moderních zážehových motorů s 3w katalyzátorem jsou emise výfukových škodlivin nižší.



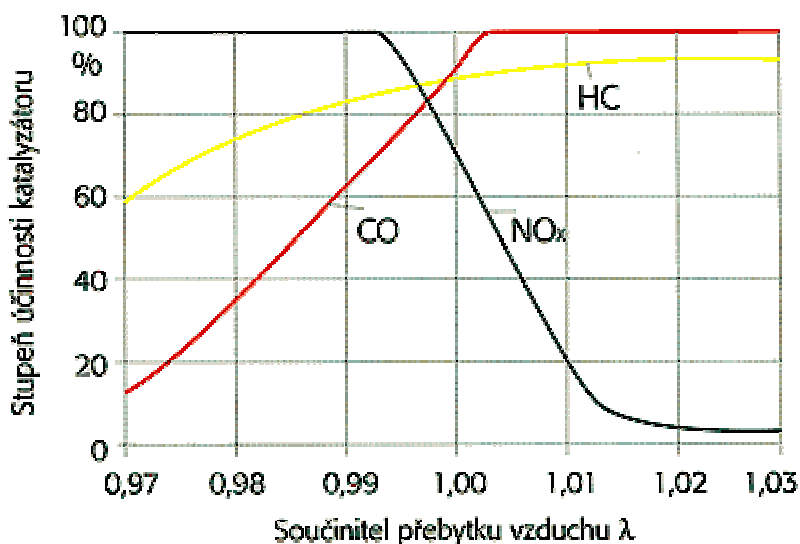
Obr. 5 Porovnání škodlivin ve výfukových plynech původních autobusových naftových motorů a přepínaný motor na LPG. [10]

3.5 Dodatečná úprava spalín

Dosavadní úvahy o emisních vlastnostech motorů se týkaly výhradně složení spalín ve stavu jak jsou vytlačovány z válce motoru do výfukového potrubí. U moderních spalovacích motorů se klade důraz na minimalizaci negativních účinků

na okolí (dáno zákonem) a proto se výfukové plyny dodatečně upravují pomocí katalyzátorů. Pro běžně používané zážehové motory, provozované v režimech stechiometrického složení paliva, se používají tzv. třicestné katalyzátory (CO , C_nH_m , NO_x). Pro zážehové motory provozované v režimu s $\lambda \gg 1$ (přepřehované plynové zážehové motory) a pro některé typy vznětových motorů se používají oxidační katalyzátory (CO , C_nH_m). Při nedostatečném snížení emise NO_x u vznětových motorů můžeme použít selektivní katalyzátor.

Třicestný katalyzátor (3w) uskutečňuje dodatečnou likvidaci všech tří hlavních skupin škodlivin (CO , NO_x a HC) redukčně-oxidační chemickou reakcí, probíhající ve spalínách při jejich průtoku úzkými průřezy s pórovitým povrchem, nasyceným kovy s katalytickými účinky (Pt, Rh, Pd). Podmínkou vysoké účinnosti katalyzátoru je udržení směšovacího poměru (λ v rozmezí 0,99 – 1,002). To je dáno tím, že ve spalínách z hoření bohaté směsi není přítomen kyslík pro dodatečnou oxidaci a naopak dodatečná likvidace NO probíhá reakcí s produkty nedokonalé oxidace (H_2 , CO). Nejlepší účinnosti dosahuje katalyzátor až po zahřátí nad 300 °C. Pro dlouhou životnost katalyzátoru je potřeba vysoká čistota paliva (síra, fosfor, chlór a těžké kovy) mají za následek pokles účinnosti.

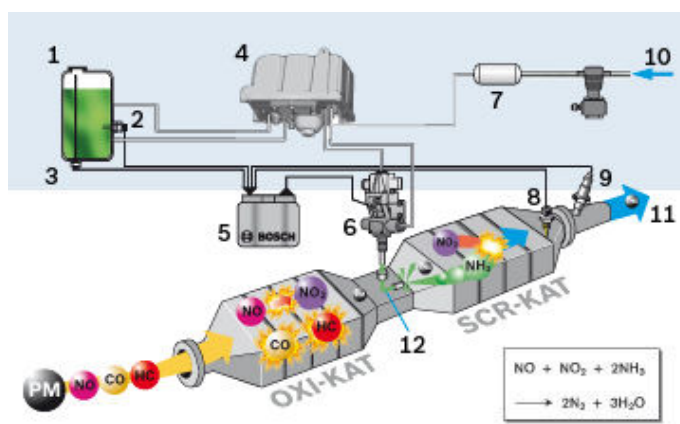


Obr. 6 Vliv součinitele přebytku vzduchu λ na účinnost katalyzátoru. [8]

Oxidační katalyzátor (dvousložkový / 2w) snižuje ve výfukových plynech koncentrace (HC a CO). K uskutečnění potřebných reakcí je potřeba kyslík, který

je v tomto případě spolehlivě dodáván provozem motoru na směs s výrazným přebytkem vzduchu. Účinnost a životnost je stejná jako u 3w katalyzátorů.

Selektivní katalyzátor snižuje koncentraci NO_x pomocí katalytické redukce NO_x pomocí vstřikování roztoku čpavku do výfukových plynů v závislosti na koncentraci škodliviny ve spalínách. Pro správnou účinnost musí být teplota spalín v rozmezí 350 až 420 °C a je nutná i kontrola zbytku čpavku za katalyzátorem. Tyto katalyzátory se začínají používat u nízkoemisních vznětových motorů pro osobní automobily.



Obr. 7 Oxidační a selektivní katalyzátor. [7]

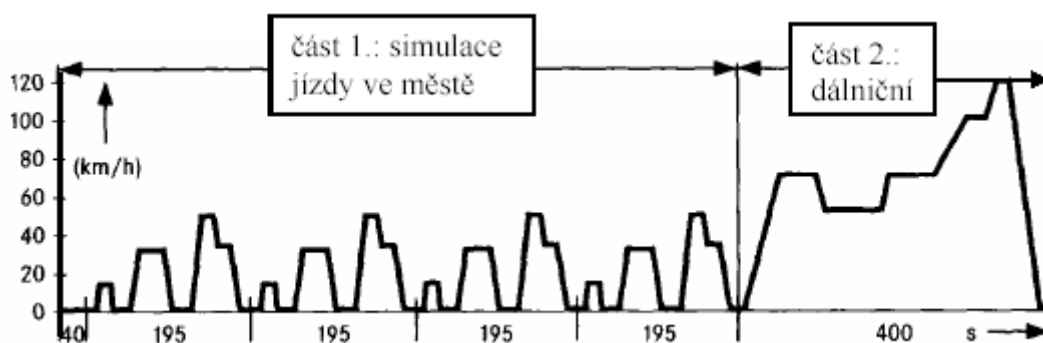
1. Nádržka s močovinou, 2. Snímač teploty, 3. Snímač stavu náplně, 4. Odměřovač, 5. Řídící jednotka, 6. Vstřikovač, 7. Zásobník vzduchu, 8. Snímač teploty, 9. Snímač výfukových spalín, 10. Přívod vzduchu (kompresor), 11. Vyčištěné výfukové plyny, 12. Rozprašovač

4.0. Limity výfukových škodlivin

Požadavky na snižování škodlivých emisí z pístových spalovacích motorů se vyvíjejí odděleně pro různé druhy motorů (silniční, stacionární, atd.). Provozní režimy, způsob zjišťování a limitní hodnoty pro jednotlivé složky škodlivin jsou stanoveny podle typu a kategorie motorů, každý stát může mít různá kritéria a limitní hodnoty škodlivin.

Pro silniční vozidlové motory platí ve většině zemí Evropy směrnice Evropské hospodářské komise OSN (předpisy EHK, resp. ECE). Směrnice se dále rozdělují podle (typu spalovaného paliva, kategorie vozidel, jejich hmotnosti a zdvihového objemu motoru), při přestavbě motoru k provozu na plynné palivo (NG, LPG) se vyžaduje plnění emisních limitů na stejné úrovni jako u původního motoru (§ č.51 zák. č. 102/95 Sb.) tzn. , že výfukové emise musí vyhovovat předpisům EHK 15 (starší benzinové motory), EHK 83 (novější benzinové motory) nebo EHK 49 (naftové motory).

Emisní vlastnosti vozidel kat. M1 a N1 (rozděleno podle zák. č. 102/95 Sb. na osobní a užitkové automobily se zážehovými motory s celkovou hmotností do 3,5 t) se zjišťují jízdním testem, simulovaný na zkušebně vozidel. Podle jednotlivého předpisu se simuluje jízda na zkušebním válcovém dynamometru (městský provoz a jízda po dálnici).



Obr. 8 Emisní test podle EHK 83 (celková doba testu 1220 s, ujetá vzdálenost 11,007 km). [1]

Výfukové škodliviny se vyjadřují jako průměrné buď na celý test, nebo přepočtené na ujetou vzdálenost 1 km.

Předpis	Platný od	Limity měrných emisí [g/km]				
		CO	HC	NO _x	HC+NO _x	PM
EHK 15.00	1973	28,9	2,15	-	-	-
EHK 15.01	1977	23,2	1,83	-	-	-
EHK 15.02	1979	23,2	1,83	2,47	-	-
EHK 15.03	1981	18,8	1,6	2,1	-	-
EHK 15.04	1984/86	14,3	-	-	4,69	-
EHK 15.05	1990/91	11,1	-	1,48	3,70	-
EHK 83.01	1992	2,72	-	-	0,97	0,14
EHK 83.02	1995	2,72	-	-	0,97	0,14
EHK 83.03	1997	1,0	-	-	0,7	0,08

Obr. 9 Vývoj předpisů EHK. [1]

Pozn.:1. Předpis EHK 15 určoval emisní limity v g/test, proto jsou hodnoty přepočteny na g/km.

Test EHK 15 simuloval jízdu ve městě čtyřmi cykly a ujetá vzdálenost byla 4052 m. Limity byly odstupňovány podle zdvihového objemu (v tabulce je uveden motor o objemu 1,4 litru).

2. Nespálené uhlovodíky se začaly měřit infračervenými analyzátory a od předpisu EHK 15.04 jsou měřeny pomocí plamenoionizačního analyzátoru (FID).

3. V předpis EHK 83 se změnilo odstupňování podle zdvihového objemu nahradilo se jednotným limitem v g/km a emisní test se doplnil o dálniční jízdní cyklus.

4. Do r.1996 platily emisní limity pro schvalovací zkoušku a pro sériová vozidla byl limit o 10% vyšší. Od r.1996 jsou jednotné.

5. Vznětové motory s přímým vstřikem měly do 30.9.99 limity $HC+NO_x = 0,9$ g/km a $PM = 0,19$ g/km.

Další vývoj limitních hodnot výfukových škodlivin lze odhadnout podle postupu zpřísnování emisních požadavků CARB v USA (Kalifornie), kde jsou nejtvrdší požadavky na postupné snižování emisí.

Limitní hodnoty škodlivin ve výfukových plynech vozidel kategorie M2, M3, N2 a N3 [1]

Předpis	Platný od	Limity měrných emisí [g/kWh]			
		CO	HC	NO _x	PM
EHK 49.00 (ECE R 49.00)	1983	14,0	3,5	18,0	-
EHK 49.01	1990	11,2	2,4	14,4	-
EHK 49.02 (EURO 1)	1993	4,5	1,1	8	0,36
EHK 49.03 (EURO 2)	1996	4	1,1	7	0,15
EHK 49.04 (EURO 3)	2001	2,1	0,66	5	0,1
EURO 4 - ESC	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
EURO 5 - ESC	2008	1,5	0,46	2,0	0,02

5.0. Dělení analyzátorů podle principu měření

Aby bylo možno při popisu jednotlivých metod a přístrojů postupovat systematicky, je zapotřebí nalézt hlediska pro jejich rozdělení. Můžeme uplatnit třídění podle účelu, kterému slouží. Významným hlediskem pro klasifikaci analyzátorů je princip, na kterém dané přístroje pracují.

Analyzátory založené na fyzikálním principu podstatným znakem takových analyzátorů je skutečnost, že při průchodu směsi přístrojem nedochází ke změnám kvantitativním ani kvalitativním. Z fyzikálních vlastností, které se uplatňují je to (hustota, tepelná vodivost, viskozita, absorpce záření, ionizace atd.).

Analyzátory založené na fyzikálně-chemickém principu kromě bezprostředního měření fyzikálních veličin lze sledovat fyzikální jevy provázející chemickou reakci, které se určovaná složka účastní, nebo kterou podstatně ovlivňuje. Využívají způsobu (měření teploty reakční směsi při chemické reakci, měření elektrického proudu procházejícím elektrochemickým článkem).

Chemické analyzátory zde se využívá chemické reaktivnosti látek. Zde se měří fyzikální veličiny. Mírou koncentrace sledované složky ve směsi není absolutní hodnota fyzikální veličiny, ale rozdíl jejich hodnot před a po chemické reakci. Aby mohla reakce proběhnout musíme přidávat další látky, nejčastěji v podobě roztoků.

5.1. Optické metody

K optickým metodám řadíme takové, při kterých se nějakým způsobem přímo ovlivňuje elektromagnetické záření vlnových délek ultrafialové, viditelné a infračervené oblasti. Může dojít k absorpci, rozptylu a lomu záření. Patří sem i metody používající metody fluorescence a chemiluminiscence.

5.1.1. Absorpce světla

Prochází-li elektromagnetické záření (světlo) vrstvou plynu je část procházející energie pohlcena. U řady směsí je absorpční koeficient, alespoň v určité oblasti koncentrací, nezávislý na koncentraci. Pro každou vlnovou délku platí Lambert-Beerův absorpční zákon.

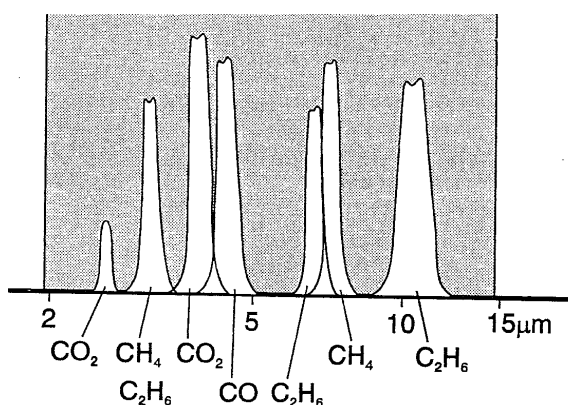
$$I = I_o \cdot e^{-\epsilon c l} \quad (2)$$

kde: I ... zářivý tok vystupující z vrstvy látky
 I_0 ... zářivý tok vstupující do vrstvy látky
 ϵ ... absorpční koeficient
 c ... koncentrace absorbující složky
 l ... délka absorpční dráhy (tloušťka vrstvy plynu)

Pro zjišťování přítomnosti individuálního plynu v analyzované směsi se využívá skutečnosti, že závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce záření je pro každou složku plynu jiná.

Absorpce záření:
$$A_{celková} = \int (1 - e^{-\epsilon c l}) d\Lambda \quad (3)$$

5.1.2. Fotometrie v infračervené oblasti

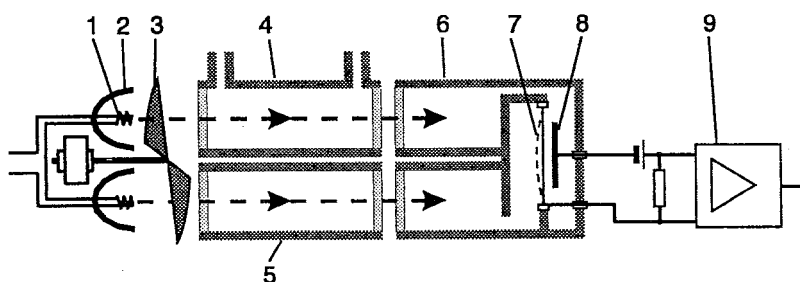


Obr. 10 Absorpční spektra některých plynů. [3]

Absorpci individuálního plynu určuje plocha pod křivkou vyznačená na obr.8 chemickým vzorcem příslušného plynu. Špičky vibračních absorpčních spekter leží v rozsahu vlnových délek infračerveného záření.

Schéma přístroje je na obr.11 infračervené záření emitované zářičem prochází kyvetami s okny propustnými pro příslušnou vlnovou délku (sklo, kazivec). Srovnávací kyveta je naplněna plynem, který nepohlcuje infračervené záření. Měřicí kyveta se proplachuje vzorkem plynu z výfukových škodlivin, takže část záření je pohlcena. Rozdíl v intenzitě prošlého záření je tedy měřítkem koncentrace absorpčně aktivních plynů ve vzorku. Vliv absorpce ostatních složek ve směsi se tu potlačuje použitím detektorů, které jsou složeny ze dvou komor naplněných plynem, jehož koncentrace se zjišťuje. Využívá se také toho, že pohlcením zářivé energie se plyn ohřívá (tok záření se moduluje rotující clonou

takže průběh teploty je periodický jinak by se teplota blížila stavu rovnováhy). Zvýšení teploty plynu se projeví zvětšením tlaku, tyto změny je možné měřit (membrána) a převést na elektrický výstupní signál. Je-li v měřící kyvetě přítomna látka absorbující záření jiných vlnových délek, nemá to na výsledek měření vliv, neboť detektor na jiné vlnové délky, pokud se absorpční pásy měřené a doprovázející složky nepřekrývají, nereaguje. Popsaný postup se nazývá bezdisperzní infraanalýzátor (NDIRA = Non Dispersive Infrared Analyser, někdy jen NDIR jako označení metody).



Obr. 11 Schéma infračerveného analyzátoru. [3]

1. zdroj záření, 2. reflektor, 3. rotační clona, 4. měřící kyveta, 5. srovnávací kyveta, 6. detektor,
7. membrána tlakového převodníku, 8. elektroda kapacitního snímače, 9. zesilovač

5.1.2.1. Potlačení vlivu rušivých složek

Plynový filtr V předchozím případě jsme předpokládali, že žádný z plynů, přítomných ve směsi nemá s určovanou složkou stejný absorpční pás. V praxi se stává, že se dvě složky navzájem ruší. Vhodným prostředkem k absorpci nežádoucího záření je sám rušivý plyn a proto se zařazují do optických drah analyzátoru kyvety naplněné rušivým plynem.

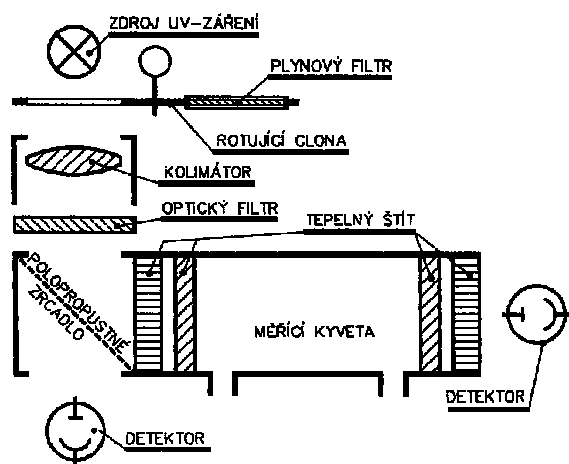
Detektor s komorami za sebou Vliv rušivé složky je možné potlačit tím, že se filtrem propustí jen úzký pás vlnových délek.

NDIRA se používá pro měření koncentrace oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého jako standardní metoda. Protože se nevyrábí přístroje s přestavitelnou délkou kyvet, poměr největšího a nejmenšího rozsahu (měnitelný změnou zesílení

při elektronickém zpracování signálu komparátoru) je cca 1 : 10. Pro obsáhnutí všech možných koncentrací se nevystačí s jedním přístrojem.

5.1.3. Fotometrie ultrafialové oblasti

Ultrafialové záření je definováno v oblasti vlnových délek od 0,2 do 20 μm . V tomto rozmezí přísluší záření ty vlnové délky a takové energie, že kmity mohou sledovat pouze elektrony. Jako zářič se používá plynová výbojka s dutou katodou. Ultrafialové záření je časově modulováno rotující clonou a děleno polopropustným zrcadlem. Záření procházející měřicí kyvetou je částečně pohlceno absorpčně aktivními složkami ve vzorku škodlivin. Porovnávací paprsek je veden přímo na korekční detektor. Citlivost přístroje je zajištěna volbou náplně výbojky a náplně



plynového filtru. Zpracováním výstupních signálů z obou detektorů se v elektronických obvodech přístroje generuje napětí, které je lineární funkcí koncentrace sledované složky.

Přístroje pracující na principu absorpce ultrafialového záření se využívají k měření koncentrací oxidů dusíku.

Obr. 12 Analyzátor s absorpcí ultrafialového záření. [2]

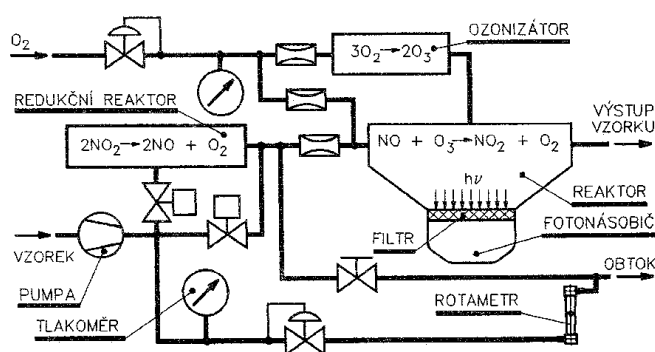
5.2. Chemiluminiscenční analyzátory

Tyto analyzátory se používají pro měření koncentrací oxidů dusíku. Základním principem měření je chemická reakce doprovázená emisí světelného záření. Takovou reakcí je:



Oxidace oxidu dusnatého ozónem na oxid dusičitý s kyslíkem, kde $h\nu$ je energické kvantum (h ..PLANCKova konstanta, ν .. frekvence). Je možné si představit, že každá srážka molekul NO a O₃ je doprovázena světelným zábleskem. Ozón se vyrábí ze vzdušného kyslíku přímo v přístroji buď působením elektrostatického pole o vysokém napětí nebo vystavením kyslíku ultrafialovému záření. Společně se vzorkem spalin se přivádí do reaktoru, v němž je zabudován fotonásobič. Za předpokladu, že ozón je přiváděn v přebytku, je výstupní signál přímo úměrný množství přiváděného oxidu dusnatého. Uvedená chemické reakce není výrazněji ovlivňována ostatními složkami přítomnými ve směsi. Součástí měření musí být i přesná stabilizace průtoku analyzované směsi (intenzita záření je přímo úměrná množství oxidu dusnatého).

Měření koncentrace oxidu dusičitého je možno chemiluminiscenční metodou měřit tehdy, převede-li se oxid dusičitý před vstupem do měřicí komory na oxid dusnatý. Převod se uskuteční v reaktoru obsahující redukující náplň. Je-li do proudu měřeného plynu zařazen tento konvertor měří analyzátor součet oxidů dusíku. Koncentraci samotných složek je možné zjistit zařazením automatických



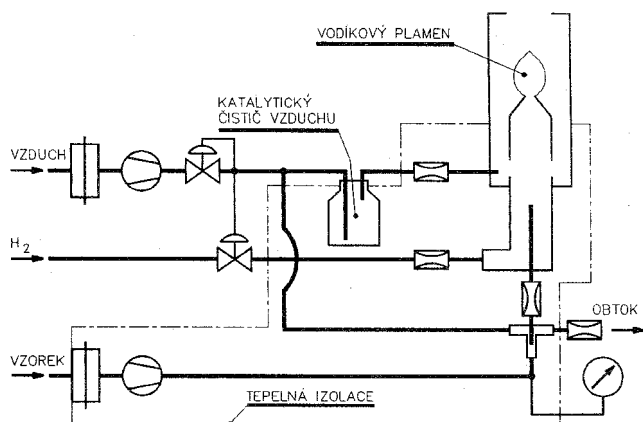
ventilů, které přepínají měření původní a regulované směsi. Tím je umožněno poskytnout všechny tři výstupní signály, odpovídajícím koncentracím NO, NO_x (NO + NO₂) a NO₂.

Obr. 13 Chemiluminiscenční analyzátor. [2]

5.3. Analyzátoři s ionizací v plameni

V analyzátořích s ionizací v plameni se využívá toho, že za přítomnosti organických par (organicky vázaného uhlíku) se v plameni hořícího vodíku vytvářejí snadno ionizovatelné částice, které mohou zprostředkovat vedení elektrického proudu mezi elektrodami umístěnými v blízkosti plamene. Tento analyzátor se původně vyvinul jako detektor chromatografu a proto se nazývá plamenoionizační detektor (FID – Flame Ionization Detector).

Difúzní vodíkový plamen se zapaluje při spuštění přístroje žhavicí svíčkou. Spalovací vzduch nasávaný z atmosféry se zbavuje případně přítomných organických sloučenin v katalytickém čističi. Část vzduchu se mísí (společně se



Obr. 14 Plamenoionizační detektor. [2]

vzorkem) s vodíkem před vstupem do hořáku, aby se podle koncentrace kyslíku ve vzorku neměnil příliš tvar plamene. Tlak vodíku se reguluje v závislosti na tlaku spalovacího vzduchu. Celé vedení vzorku (filtr, pumpa, hořák) je umístěno v termostatu.

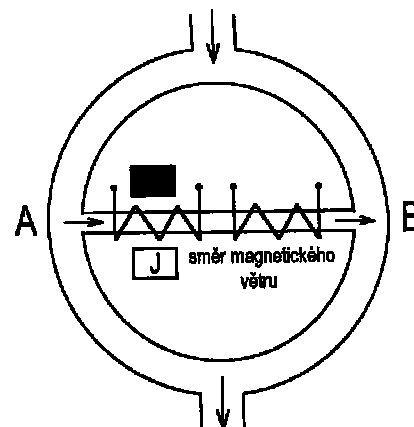
Proud iontů se snímá dvojicí elektrod, z nichž jedna je obvykle tvořena samotným tělesem hořáku, druhá je umístěna v plameni. Umístění elektrody v plameni musí být přesné, protože proud iontů vzniká v určité oblasti plamene a ionty rychle zanikají. Podstatné při tom je, že velikost procházejícího elektrického proudu je úměrná koncentraci organické látky. Plamenoionizační detektor vykazuje určitou chybu při přítomnosti kyslíku v analyzovaném vzorku, proto musíme dbát na správné seřízení směšovacího poměru.

Při provozu se musí trvale dodávat vodík (z tlakové láhve jako směs H_2/He , H_2/N_2 nebo z vyvíječe vodíku). Některé přístroje vyžadují zásobování plamene syntetickým vzduchem z tlakové láhve.

5.4. Magnetické analyzátoary

Molekuly kyslíku patří mezi látky paramagnetické. Téměř všechny ostatní plyny jsou slabě diamagnetické. Paramagnetické látky mají vysokou permeabilitu a jsou vtahovány do magnetického pole. Na tomto principu jsou založeny analyzátoary kyslíku. Statické metody využívají přímého měření síly, která působí na těleso obklopené měřeným plynem umístěné v nehomogenním magnetickém poli. Dynamické a termomagnetické metody využívají proudění, které vznikají účinkem nehomogenního magnetického pole na nerovnoměrně ohřátý plyn.

U dynamických přístrojů se měřený plyn zahřívá v magnetickém poli. Kyslík vtažený do magnetického pole (A) ztrácí při zvýšení teploty magnetizmus a je vytlačován studeným kyslíkem. Nerovnost teplot vinutí (nerovnost jejich odporů) = vznik signálu, který je úměrný obsahu kyslíku v plynu.



Obr. 15 Kruhová komora magnetického analyzátoru. [2]

5.5. Měření emisí pevných částic

Množství pevných částic lze vyjádřit jako kouřivost motoru, nebo jako měrnou koncentraci. Kouřem se nazývají částice rozptýlené ve výfukovém plynu, které pohlcují, odrážejí nebo lámou světlo. Na rozdíl od plyných škodlivin je kouření vznětového motoru pozorovatelné i bez měřících přístrojů a proto bylo ze všech škodlivin sledováno jako první. Pro zjišťování kouřivosti používáme několik metod.

První metoda (filtrační metoda) je založena na zachycení částic kouře na filtrační papírek, přes který se prosaje vzorek výfukových plynů. Množství zachycených částic se vyhodnocuje opticky podle míry množství pohlceného světla znečištěným filtrem, který se porovnává s čistým filtrem.

Opacimetrie je přímé zjišťování pohltivosti světla sloupcem výfukových plynů. U této metody je ovšem nebezpečí pokrytí povrchu čidla povlakem částic.

Gravimetrie – jedná se o stanovení obsahu pevných částic pomocí přesných laboratorních vah, kdy se po skončení měření zváží znečištěný filtr. Filtr se skládá ze skelných vláken potažených teflonem. Koncentraci částic je možné získat také výpočtem z kouřivosti motoru.

6.0. Kalibrace a cejchování analyzátorů

Kalibrace v analýze výfukových škodlivin je funkce vyjadřující závislost čtení přístroje na nějaké měřitelné vlastnosti odpovídající určité hmotnostní koncentraci analytu, která je definovaná referenční manuální metodou za podmínek, kdy jsou všechny rušivé složky konstantní.

Cejchování je na rozdíl od kalibrace porovnání údajů zkoušeného přístroje s údaji certifikovaného referenčního materiálu, u něhož jsou zjištěny všechny chyby měření platnou technickou procedurou a k němuž je připojen příslušný certifikát. Provádí se v prostředí, v němž lze nastavovat a udržovat neměnné hodnoty měřeného parametru. Cílem cejchování je zjistit přístrojovou chybu zkoušeného přístroje.

Kalibrace přístroje = snaha o dosažení shody mezi údaji přístroje a absolutní hodnotou příslušné koncentrace škodliviny. Základní kalibraci přístroje provádí výrobce. Jediným korektním postupem pro přezkušování kalibrace je použití kalibračních plynů.

Nulová výchylka přístroje se nastaví při proplachování měřicího systému dusíkem, nebo alespoň čistým suchým vzduchem. Pro přezkoušení dalších bodů kalibrační křivky se na vstup přístroje přivede směs individuálního plynu s nosným plynem (pomocí děliče plynů). Při proplachování měřicího systému kalibračním plynem se nastaví výchylka stupnice shodná s koncentrací sledované složky v kalibračním plyně. Při procesu přezkušování je nutno dodržovat stanovené podmínky uvnitř měřicího systému analyzátoru stejné, jako se nastavují při analýze spalín (tlak, průtok). U některých přístrojů lze odečítat velikost elektronické korekce, kterou se při cejchování kompenzují odchylky. Při překročení maximálních odchylek (stanoveno od výrobce) se musí provést fyzický zákrok do analyzátoru.

7.0. Seznam přístrojů

Hlavním požadavkem a úkolem praktické části bakalářské práce je vypracovat seznam všech analyzátorů výfukových plynů v laboratoři KVM. V programu MS Excel jsem vytvořil tabulku analyzátorů. Tento soubor pracuje

s automatickými filtry, které umožňují rychlé vyhledávání např. podle výrobce nebo podle měřené složky. Tabulka s údaji o přístrojích obsahuje (umístění daného přístroje, typ přístroje, výrobní číslo, měřenou složku emisí, výrobce, měřicí systém a jeho rozsah, rok výroby, revize, stav, potřebné provozní plyny k danému analyzátoru, odkaz na cejchovní a typové listy analyzátorů). Další technické parametry přístrojů jsou uvedeny v typových listech analyzátorů, které jsou dodány jako Příloha 1.

U přístrojů Hartmann-Braun a Beckman nešlo z výrobních štítků zjistit rok výroby. Revize některých přístrojů nelze dohledat a kalibrace jednotlivých přístrojů se provádějí v laboratoři KVM před každým měřením (i během měření). Vypracovaná tabulka je vytištěna a přiložena se souborem na CD jako Příloha 2.

Soubor obsahuje celkem osm listů (karet). První list (hlavní – označen červenou barvou) obsahuje soupis všech analyzátorů. Seznam všech analyzátorů na jednom listu i s možností filtrace se ukázal jako nevhodný pro špatnou přehlednost a chybnou funkci filtrace. Proto byly vytvořeny listy, které obsahují analyzátory jen se stejnou složkou měření škodlivin.

Přístroje, které mají stejnou barvu výplně buňky patří do pevných sestav. Ostatní analyzátory jsou uspořádány v přenosných sestavách.

Pro správnou funkčnost odkazů na cejchovní a typové listy je nutno umístit tyto soubory na server (pevné místo) odkud se mohou načítat do příslušných počítačů s tímto programem.

Při opravách nebo zadávání nových údajů k jednotlivým analyzátorům je nutno tyto údaje přepisovat v listech se stejnou složkou měření škodlivin, protože k přepsání v hlavním listu dochází automaticky pomocí propojení jednotlivých buněk.

Microsoft Excel - Kopie - Sešit6.5

Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Nástroje Data Okno Nápověda

Nápověda - zadejte dotaz

M6 =HCIM4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Umístění	Typ	Výrobní číslo	Složka emisí	Výrobce	Měřicí systém	Měřicí rozsah	Rok výroby	Revize	Stav	Provozní plyn
2	MEXA - 9430H	Horiba AIA - 310K	565480013	CO	Horiba - Japonsko	NDIR	(L-dlouhá trubice) 0-100 až 3000 ppm, (H) 0 - 5000ppm	1991B	VI.05	v provozu	
3	MEXA - 9430H	Horiba AIA - 310K	565480014	CO ₂	Horiba - Japonsko	NDIR	0 - 1 až 20 %	1991B	VI.05	v provozu	
4	MEXA - 9430H	Horiba AIA - 310K	565480015	HC	Horiba - Japonsko	NDIR	(L) 0 - 100 až 3000 ppm, (H) 0 - 5000 až 10000 ppm	1991B	VI.05	v provozu	
5	MEXA - 9430H	Horiba GFA - 320K	567570012	CH ₄	Horiba - Japonsko	gas chromatography + hydrogen flame ionization detector	10, 25, 50 ppm	1992K	VI.05	v provozu	40 % H ₂ v He, vzduch
6	CVS - 9330T	Horiba AIA - 310K	565478011	CO	Horiba - Japonsko	NDIR	(L) 0-100 až 3000 ppm, (H) 0 - 5000ppm	1991B	VI.05	v provozu	
7	CVS - 9330T	Horiba AIA - 310K	565480012	CO ₂	Horiba - Japonsko	NDIR	0 - 1 až 20 %	1991B	VI.05	v provozu	
8	CVS - 9330T	Horiba FIA - 321K	565480011	CH ₄ / T.HC benzín	Horiba - Japonsko	FID	10 - 5000 ppmC	1991B	VI.05	v provozu	40 % H ₂ v He, vzduch pro CH ₄ benzín
9											

[Soupis přístrojů](#)
[CO](#)
[CO₂](#)
[HC](#)
[NO - NO_x](#)
[O₂](#)
[Kouřivost](#)
[Měřicí kufr](#)
[List2](#)
[List3](#)

Připraven 123

Start praxe Moje pracovníka 25.5 - Micr... Dokument1 - Microsoft ... Microsoft Excel - Kopi... 9:32

Obr. 16 Ukázka tabulky s vypracovaným seznamem analyzátorů

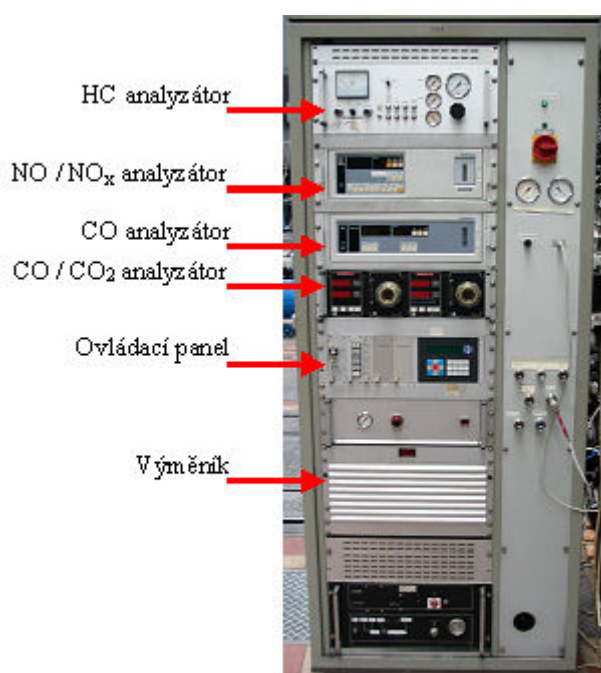
7.1 Schémata možného zapojení analyzátorů

Sestavy analyzátorů a jejich možné zapojení může být libovolné záleží jen na složkách měřených škodlivin, které se rozhodneme měřit. Mezi základní a hlavní škodliviny, které jsou sledovány ve výfukových plynech patří (nespálené uhlovodíky, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a oxid uhličitý). Sestava analyzátorů by měla obsahovat, ovládací panel, výměník, dopravní čerpadlo a filtr.

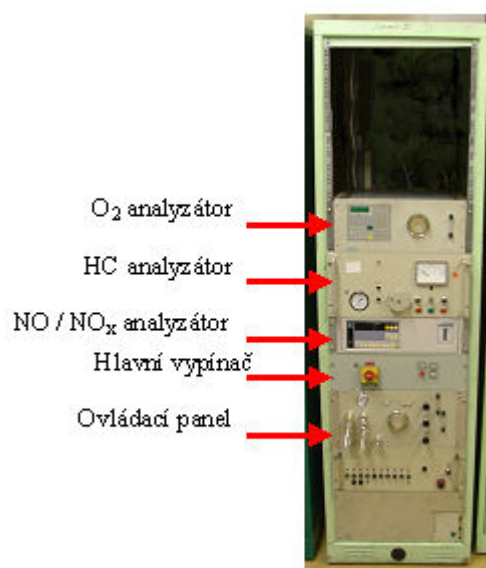
Z odběrové sondy je vzorek výfukových plynů veden pomocí dopravního čerpadla do ovládacího panelu, který obsahuje elektromagnetické ventily a umožňuje řízené přepouštění výfukových, kalibračních a nulovacích plynů do analyzátorů. Z ovládacího panelu je vzorek výfukových plynů veden do výměníků, kde je ochlazován, aby se z něj vyloučila voda. Dále vzorek výfukových plynů pokračuje přes filtr na odfiltrování sazí a škrťací ventily do příslušných analyzátorů.

Pro měření celkového množství uhlovodíků není vzorek plynu veden přes výměník, ale přímo vyhřívaným potrubím do filtru a odtud do vyhřívaného analyzátoru FID (celé potrubí musí být vyhřívané včetně spojek a filtru, aby nedošlo ke kondenzaci škodlivin a vody).

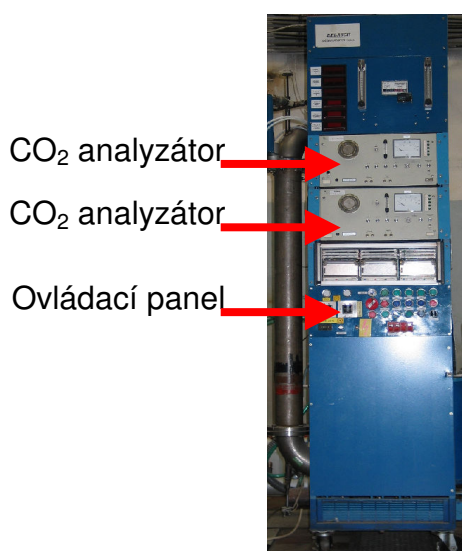
Základní sestavy v laboratoři KVM se skládají ze tří pojízdných skříní (TV3, Schrank-II a skříň měření pevných částic) a jedné pevné sestavy (Horiba MEXA - 9430H + CVS - 9330T).



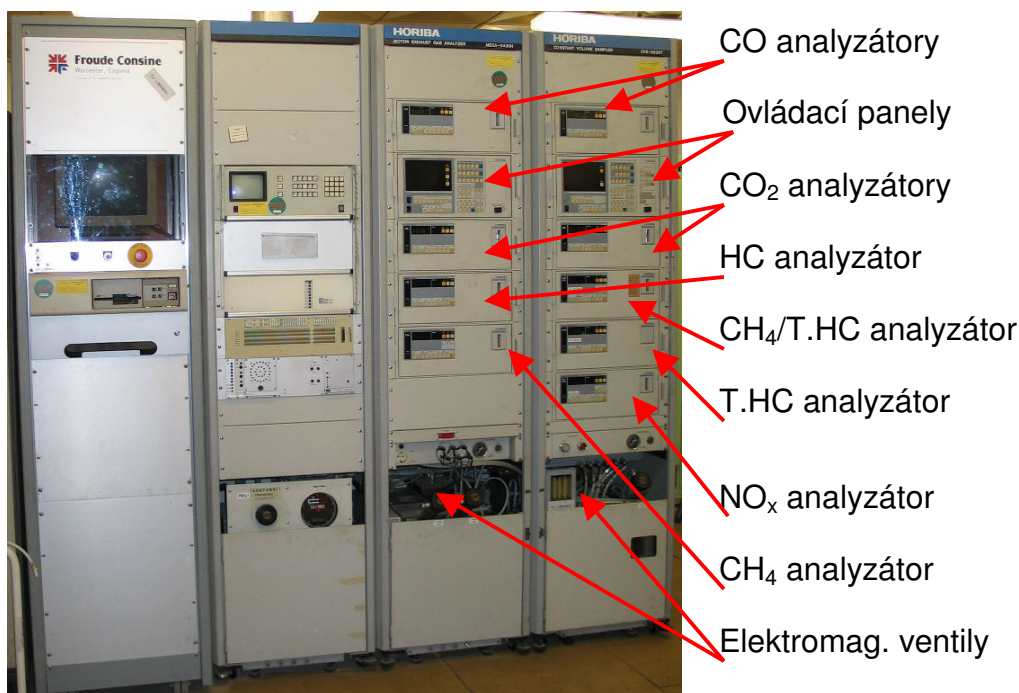
Obr. 17 Pojízdná skříň TV3



Obr. 18 Pojízdná skříň Schrank II



Obr.19 Pojízdná skříň Měření pevných částic



Obr.20 Pevná sestava Horiba - MEXA - 9430H a CVS 9330T

8.0. Ověření funkčnosti zapojení analyzátorů

Měření se provádělo na motoru Škoda 1,4 MPI. Základní prvky sestavy měřicího stanoviště byly použity z pojízdné skříně TV3 a vzorek výfukových plynů byl veden k analyzátorům, které byly umístěny na pojízdném stolku u motoru. Měřené škodliviny byly měřeny v suchých výfukových plynech.

Základní technické údaje motoru:

- Škoda 1.4 MPI 8V 44kW
- výr. číslo: *AZE*003237*
- kapalinou chlazený zážehový čtyřválec
- blok motoru i hlava válců z hliníkové slitiny
- elektronicky řízené vícebodové vstřikování
- bezdotykové zapalování
- palivo – bezolovnatý benzín
- zdvihový objem = 1397 cm³
- vrtání/zdvih válce = 75,5 / 78 mm
- kompresní poměr ϵ = 10
- 2 ventily/válec, OHV

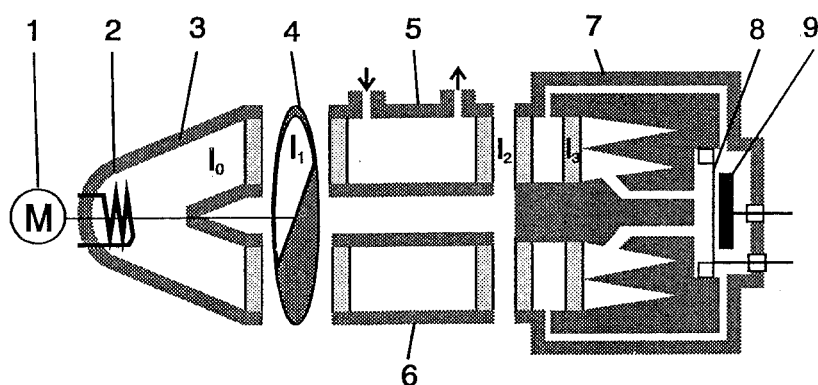
Analyzátory použité v sestavě:

Typ analyzátoru	Výrobní číslo	Složka emisí	Výrobce
Rosemount NGA 2000P	25063833215	NO _x	Emerson - Německo
FIDAS 2T	30824509	C ₃ H ₈	Hartmann - Braun
URAS 2T	30828090	CO	Hartmann - Braun
URAS 3E	30885742	CO ₂	Hartmann - Braun

Analyzátor URAS 3E

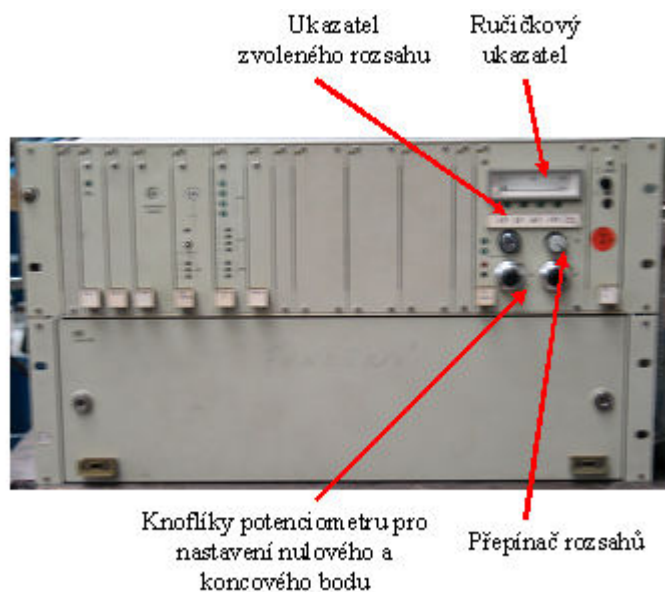
Jedná se o nedisperzní infračervený analyzátor (tzn. nedochází k spektrálnímu rozkladu infračerveného záření), který slouží pro kontinuální měření koncentrace CO₂ ve výfukových plynech. Přístroj je kalibrován v objemových procentech.

Infračervené záření vysílané zářičem se pomocí děliče rozdělí do dvou drah na měřicí a porovnávací paprsek. Zářič obsahuje rotační clonu pomocí, které je záření střídavě přepínáno. Záření prochází měřicí a srovnávací kyvetou a střídavě dopadá do detektoru. Srovnávací kyveta je naplněna dusíkem, který nepohlcuje infračervené záření. Měřicí kyvetou prochází měřený vzorek plynu. Prošlé záření dopadá do detektoru, který je rozdělen na čtyři komory, které jsou naplněny plynem jehož koncentrace se měří. Plyn v detektoru absorbuje záření a tím se plyn zahřívá a vyvolá změnu tlaku, která se převede pomocí membránového kondenzátoru a elektroniky na výstupní signál.



Obr. 21 Schéma infračerveného analyzátoru URAS 3. [3]

- 1 - pohon rotační clony, 2 - zdroj záření, 3 - usměrňovač záření, 4 - rotační clona, 5 - měřicí kyveta, 6 - srovnávací kyveta, 7 - detektor, 8 – membrána, 9 – elektroda



Obr. 12 Čelní panel analyzátoru URAS 3E

Základní technické údaje:

Měřicí rozsah:	0 až 1.5, 2.5, 4, 16 %
Průtok vzorku:	normálně 30 – 60 l/h maximálně 500 l/h
Teplota okolí:	5 – 45 °C
Doba ohřevu:	2,5 h
Napájení:	220 V (+10%, - 15%)

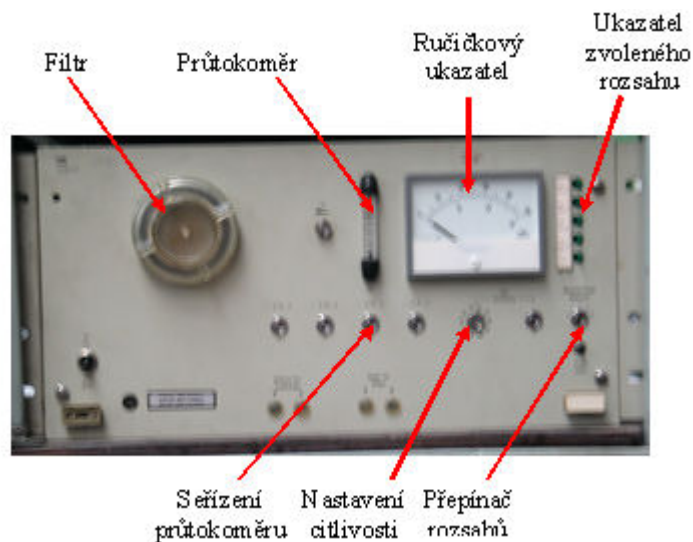
Analyzátor URAS 2T

Princip měření se shodný s analyzátořem URAS 3E. Jedná se nedisperzní infračervený analyzátor jehož komory v detektoru jsou naplněny oxidem uhelnatým.

Základní technické údaje:

Měřicí rozsah:	0 až 1.5, 3, 6, 9 %
Průtok vzorku:	nastavitelný 7 – 70 l/h normální 30 nebo 60l/h

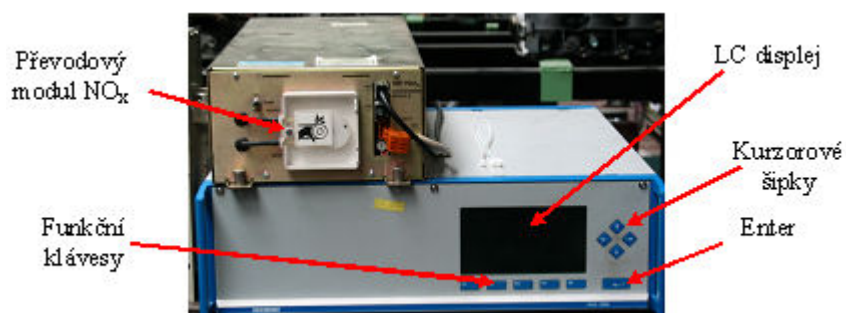
Teplota okolí: 10 – 45 °C
 Napájení: 220 V (+10%, - 15%), 50Hz
 Analogový výstup: 0 -20 mA při zatížení max 750 ohmů



Obr. 23 Čelní panel analyzátoru URAS 2T

Analyzátor Rosemount NGA 2000P

Analyzátor pracující na principu CLA (chemiluminiscenční analyzátor). Používá se pro kontinuální měření oxidů dusíku. K analyzátoru musí být připojena tlaková láhev s kyslíkem pro výrobu ozónu. Princip činnosti je popsán v odstavci 5.2.

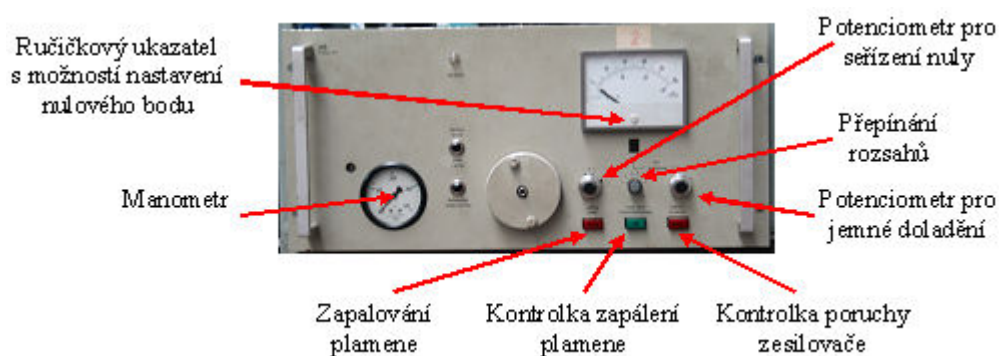


Obr. 24 Čelní panel analyzátoru Rosemount NGA 2000P

Analyzátor FIDAS 2T

Analyzátor pracující na principu měření FID (plamenoionizačního detektoru). Na přístroj jsou připojeny tlakové láhve s vodíkem a héliem, které jsou nutné pro jeho provoz. Princip měření je popsán v odstavci 5.3 .

Analyzátor zobrazuje koncentraci uhlovodíků ve vzorku v propanovém ekvivalentu. Proto musíme naměřenou hodnotu násobit třemi, abychom získali koncentraci jednouhlíkových molekul uhlovodíků ve vzorku.



Obr. 25 Čelní panel analyzátoru FIDAS 2T

Základní technické údaje:

Měřicí rozsah:	0 až 100, 300, 1000, 3000, 10 000 ppm	
Průtok vzorku:	100 - 130 l/hod	
Teplota okolí:	10 – 40 °C	
Analogový výstup:	0 - 20 mA	
Provozní plyny:	palivo - H ₂	3 l/hod
	He	4l/hod
	vzduch bez HC	150 l/hod

8.1. Provozní a kalibrační plyny

Pro zajištění provozu sestavy je třeba těchto plynů:

Provozní plyny:

- kyslík o čistotě $\geq 99,5$ % obj. O₂
- vodík (znečištění ≤ 1 ppm C; ≤ 400 ppm CO₂)
- helium (znečištění ≤ 1 ppm C; ≤ 400 ppm CO₂)

Čisté nulovací plyny:

- dusík o čistotě ≤ 1 ppm C; ≤ 1 ppm CO; ≤ 400 ppm CO₂; $\leq 0,1$ ppm NO
- syntetický vzduch o stejné čistotě a (obsah kyslíku mezi 18 a 21 % obj.)

Kalibrační plyny:

o koncentraci odpovídající 85 až 95 % měřicího rozsahu

- NO v dusíku, obsah NO₂ nesmí překročit 5% obsahu NO
- CO v dusíku
- CO₂ v dusíku
- C₃H₈ v syntetickém vzduchu

Kalibrační plyny mají přesně určenou a známou hodnotu koncentrace dané složky v N₂ (synt.vzduchu), která je deklarována na certifikátu od daného výrobce, proto je nutné respektovat dobu trvanlivosti kalibračních plynů.

8.2. Příprava k měření

Před zapojením analyzátorů do elektrické sítě je třeba provést překontrolování propojení hadic (přívod vzorku výfukových plynů, nulovacích, kalibračních a provozních plynů) na jejich těsnost. Zkontrolovat ochranné filtry. Překontrolovat zda síťové napětí odpovídá pro daný přístroj a dané příslušenství. Po zapnutí přístrojů necháme přístroje ohřívat na provozní teplotu. Po ohřátí seřídíme pomocí škrtkících ventilů průtok plynů (výfukové plyny, nulovací, kalibrační a provozní) do jednotlivých analyzátorů na hodnotu doporučenou výrobcem. Nastavíme pracovní rozsah analyzátorů. Před vlastním měřením je nutno analyzátory překalibrovat, aby byla zajištěna jejich správná činnost.

8.3. Kalibrace jednotlivých analyzátorů

Každá kalibrace analyzátoru se provádí podle manuálu výrobce k danému přístroji. Kalibrace se provádí po každém novém zapnutí analyzátoru a dále podle potřeby před, během a po skončení měření.

Kalibruje se vždy pracovní rozsah analyzátoru, na kterém bude prováděno měření. Kalibrační plyn má mít koncentraci měřené složky odpovídající 85 až 95% měřicího rozsahu. Tlaky a průtoky plynů při kalibraci analyzátorů musí odpovídat hodnotám tlaků a průtoků při měření. Před kalibrací musí být analyzátor dostatečně tepelně stabilizován.

Kalibrace analyzátorů

- odpojíme hadičku přívodu vzorku výfukových plynů na vstup.
- připojíme hadičku nulového plynu.
- pomocí redukčního ventilu na tlakové láhvi s plynem nastavíme průtok nulového plynu shodný s průtokem výfukových plynů při měření.
- nastavíme nulový bod pomocí potenciometru nebo automaticky pomocí funkčních kláves na přístroji.
- odpojíme hadičku nulového plynu a na vstup přivedeme kalibrační plyn, jehož složení odpovídá přibližně koncovému bodu zvoleného měřicího rozsahu.
- průtok kalibračního plynu musí odpovídat průtoku vzorku výfukových plynů při měření.
- nastavíme hodnotu koncového bodu, která odpovídá koncentraci kalibračního plynu. Jedná se o přesně známou hodnotu dané složky v N₂ (synt.vzduchu) - viz certifikát od výrobce. Nastavení provedeme pomocí potenciometru nebo automaticky pomocí funkčních kláves na přístroji.

U přístrojů, které jsou použity v sestavě se používá k určení nulového bodu dusík (N₂). Pro kalibraci koncového bodu používáme u přístroje Rosemount NGA 2000P oxid dusnatý v dusíku (NO v N₂), u FIDASu 2T je to propan (C₃H₈) v syntetickém vzduchu, u URASu 2T oxid uhelnatý v dusíku (CO v N₂) a URAS 3E se kalibruje oxidem uhličitým v dusíku (CO₂ v N₂).

Přesnost měření a analyzátorů

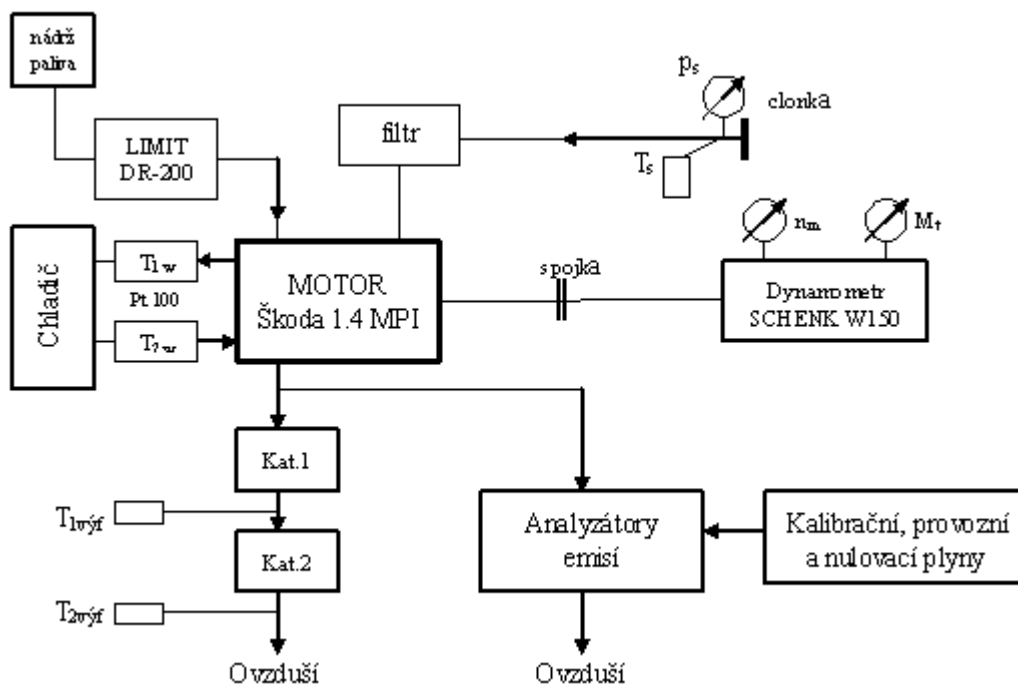
Absolutní přesnost měření závisí na přesnosti kalibračních plynů. Relativní přesnost je dána různými vlivy působící buď na nulový bod nebo na citlivost analyzátoru. Citlivost může být ovlivněna stárnutím nebo znečištěním optických

částí analyzátoru. Dále je nutno přístroj chránit před otřesy a sálavým teplem. Požadovaná relativní přesnost měření, vztažená k měřicímu rozsahu, se u provozních přístrojů pohybuje okolo hodnoty $\pm 2 \%$. Pro koncentrace menší než 100 ppm nesmí chyba přesáhnout ± 3 ppm.

8.4. Měření na motoru Škoda 1,4 MPI

Měření se uskutečnilo na motoru Škoda 1,4 MPI, který byl zatěžován dynamometrem Schenk W 150 (výrobní číslo: LWG 0811, rok výroby: 1975). Vzduch do motoru se nasával přes normalizovanou clonku. Za clonkou se měřila tlaková ztráta na clonce a teplota nasávaného vzduchu. Z těchto údajů a rozměru clonky se vypočetl objemový průtok vzduchu. Schéma zapojení sestavy analyzátorů pro měření koncentrací škodlivin v suchých výfukových plynech je viz. Příloha 3.

Po spuštění motoru se nechal motor zahřát na provozní teplotu a na dynamometru se nastavily otáčky a zatěžovací moment. Zatěžovací moment se nastavil pro otáčky $n_1 = 2000 \text{ min}^{-1}$ a $n_2 = 3500 \text{ min}^{-1}$ na (15,30,50,70 a max. Nm).



Obr.26 Blokové schéma motoru s vymezením měřících míst

LIMIT DR 200 – měří dávku a čas paliva

T_s – teplota sání

$K_{at.}$ – katalyzátor

n_m – otáčky motoru

p_s – tlaková ztráta na clonce

T_w – teplota vody chlazení

$T_{výf}$ – teplota výfukových plynů

M_t – točivý moment

Data z analogových výstupů analyzátorů se sledovala a ukládala pomocí softwaru Control Web 2000 do počítače. Pomocí tohoto programu byly snímány data z přístrojů každé dvě sekundy po dobu pěti minut na jeden cyklus. Tím jsme získali 150 hodnot, z kterých se udělal aritmetický průměr.

otáčky 1/min	moment Nm	P_e kW	p_{sani} Pa	$p_{výf}$ Pa	$t_{sání}$ °C	t_{1w} °C	t_{2w} °C	$t_{1výf}$ °C	$t_{2výf}$ °C	NO_x ppm	CO %	CO_2 %	HC ppm
2001	16	3,4	16,0	1089,2	18,13	82,0	62,0	470	420	1395	0,453	14,52	1716,1
2000	31	6,4	33,5	1691,8	18,00	85,9	64,1	513	469	2641	0,503	14,45	1800,5
2000	49	10,4	66,0	2967,0	18,00	88,2	65,7	577	547	2876	0,491	14,49	1762,5
2000	69	14,5	121,5	5069,6	18,15	88,5	65,0	655	624	2679	0,453	14,59	1810,0
2000	88	18,4	265,1	7371,7	18,81	89,0	66,1	664	644	1180	3,267	13,16	2156,2
3476	16	5,9	65,8	3122,8	18,99	82,1	63,8	630	588	1868	0,470	14,58	1456,2
3500	31	11,2	120,4	5210,5	18,89	85,3	65,7	664	627	2880	0,524	14,55	1516,3
3500	51	18,7	232,5	8887,7	19,00	89,0	67,0	724	696	3193	0,603	14,57	1337,6
3500	70	25,6	371,5	13742,5	19,73	89,0	69,0	731	713	1739	3,057	13,31	1789,9
3453	94	33,9	634,4	21621,5	19,91	89,1	70,2	758	745	896	5,012	12,06	2149,8

Tab. 1 Naměřené hodnoty

8.5. Ukončení měření

- odpojíme přívod vzorku škodlivin
- u analyzátoru FIDAS 2T vypneme přívod plynů a počkáme až klesne tlak plynu a necháme přístroj puštěný cca 10-20 min - prosávání vzduchem. Při vypínání analyzátoru pro měření nespálených uhlovodíků (HORIBA) je nutné nejprve zastavit přívod pracovních plynů - H_2 a H_e a nechat proudit syntetický vzduch dokud nezhasne kontrolka.
- necháme analyzátory proplachovat čistým vzduchem nebo nulovým plynem po dobu nejméně 20min.
- vypneme výměník (chlazení) a dopravní čerpadlo
- vypneme analyzátory
- uzavřeme tlakové láhve a povolíme škrťací ventily

- odpojíme napájecí kabel sestavy od elektrické sítě
- překontrolujeme uzavření všech tlakových láhví
- zajistíme správné uložení analyzátorů

9.0. Zpracování naměřených dat

Měření se provádělo v laboratoři KVM za následujících podmínek okolí:

- barometrický tlak $p_b = 96300$ Pa
- vlhkost vzduchu $\Phi = 51$ %

Výpočty:

efektivního výkonu motoru

$$P_e = M_t \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m}{\tau \cdot 30 \cdot 1000} \quad [\text{kW}; \text{Nm}, 1/\text{min}], \text{ kde } \tau = 2 \text{ (4 dobý motor)} \quad (4)$$

střední efektivní tlak

$$p_e = \frac{P_e \cdot 2 \cdot 60}{n_m \cdot V_z} \quad [\text{Pa}; \text{W}, 1/\text{min}, \text{m}^3] \quad (5)$$

hustota vzduchu

$$\rho_{vzd} = \frac{0,4644}{(t_s + 273,15)} \cdot \frac{(p_b \cdot 7,50064 - \phi \cdot (0,412 \cdot t_s - 1,6))}{1000} \quad [\text{kg}/\text{m}^3; ^\circ\text{C}, \text{Pa}] \quad (6)$$

objemový průtok vzduchu clonkou

$$Q_{vzd} = 5,02736 \cdot \left(1 - \frac{0,18466 \cdot p_{saní}}{p_b} \right) \cdot \sqrt{\frac{p_{saní}}{\rho_{vz}}} \quad [\text{m}^3/\text{h}; \text{Pa}, \text{kg}/\text{m}^3] \quad (7)$$

hmotnost nasávaného vzduchu

$$M_{vzd} = \rho_{vzd} \cdot Q_{vzd} \quad [\text{kg}/\text{h}; \text{kg}/\text{m}^3, \text{m}^3/\text{h}] \quad (8)$$

hmotnost spotřebovaného paliva

$$M_{pal} = \frac{M_p \cdot \rho_{pal}}{1000} \quad [\text{kg}/\text{h}; \text{l}/\text{h}, \text{kg}/\text{m}^3] \quad (9)$$

hmotnost spalin

$$M_{spal} = M_{vzd} + M_{pal} \quad [\text{kg/h; kg/h, kg/h}] \quad (10)$$

součinitel přebytku vzduchu

$$\lambda = \frac{M_{vzd}}{M_{spal} \cdot L_{vt}} \quad [- ; \text{kg/h, kg/h}] \quad (11)$$

hmotnostní průtok emisí

$$M_{no_x} = 0,001587 \cdot NO_{x,nam} \cdot K_{H,D} \cdot M_{spal_w} \quad [\text{g/h}] \quad (12)$$

$$M_{co} = 0,000966 \cdot CO_{nam} \cdot M_{spal_w} \quad [\text{g/h}] \quad (13)$$

$$M_{hc} = 0,000479 \cdot HC_{nam} \cdot M_{spal_w} \quad [\text{g/h}] \quad (14)$$

specifické emise se vypočítají

$$\overline{NO_x} = \frac{\sum M_{no_x} \cdot WFi}{\sum P(n)_i \cdot WFi} \quad [\text{g/kWh}] \quad (15)$$

$$\overline{CO} = \frac{\sum M_{co} \cdot WFi}{\sum P(n)_i \cdot WFi} \quad [\text{g/kWh}] \quad (16)$$

$$\overline{HC} = \frac{\sum M_{hc} \cdot WFi}{\sum P(n)_i \cdot WFi} \quad [\text{g/kWh}] \quad (17)$$

Hmotnostní průtok emisí CO_2 [g/h] se vypočítá podle předpisu EHK 49 následujícím způsobem, přičemž se předpokládá hustota výfukového plynu $1,293 \text{ kg/m}^3$ při 273 K (0°C) a $101,3 \text{ kPa}$. Hustota oxidu uhličitého je $1,96 \text{ kg/m}^3$.

$$M_{co_2} = CO_2 \cdot 10^{-2} \cdot \rho_{co_2} \cdot \frac{M_{spal}}{\rho_{spalw}} \quad [\text{g/h}] \quad (18)$$

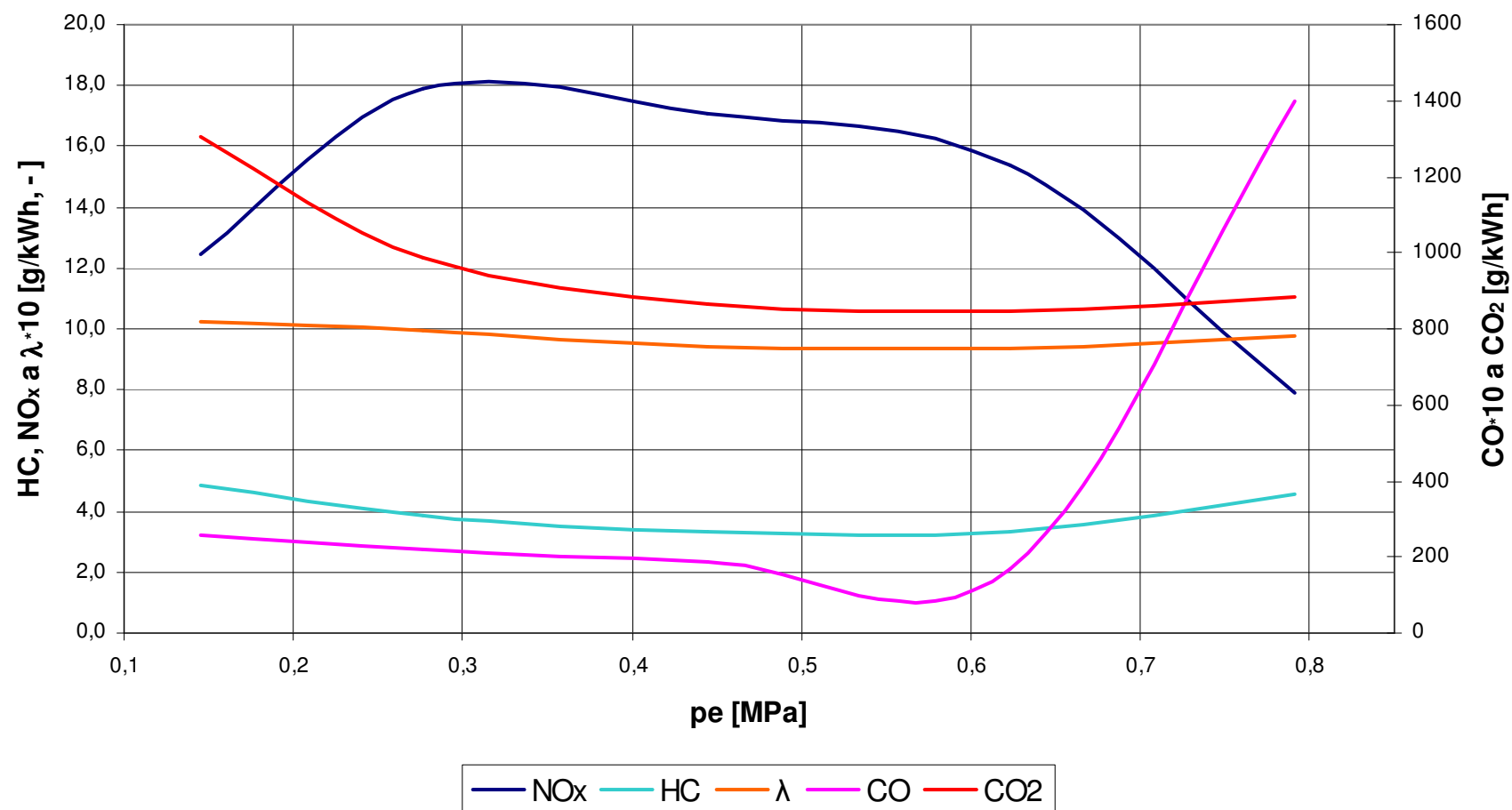
specifické emise

$$\overline{CO_2} = \frac{M_{co_2}}{Pe} \quad [\text{g/kWh}] \quad (19)$$

Pe	pe	ρ_{vzd}	Mvzd	Qvzd	Mpal	Mpal	Mspal	λ	Mno _x	Mco	Mco ₂	Mhc	NO _x	CO	CO ₂	HC
kW	Mpa	kg/m ³	kg/h	m ³ /h	l/h	kg/h	kg/h	-	g/h	g/h	g/h	g/h	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
3,4	0,145	1,1517	18,73	16,27	1,647	1,243	19,98	1,0250	42,0	87	4396	16,4	12,5	26	1303	4,9
6,4	0,276	1,1522	27,09	23,51	2,461	1,858	28,95	0,9920	115,2	141	6343	25,0	17,9	22	986	3,9
10,4	0,445	1,1522	38,03	33,01	3,635	2,745	40,77	0,9426	176,5	193	8955	34,4	17,1	19	865	3,3
14,5	0,623	1,1517	51,62	44,82	4,982	3,761	55,38	0,9337	223,4	242	12249	48,0	15,4	17	845	3,3
18,4	0,791	1,1490	76,33	66,43	7,029	5,307	81,63	0,9785	145,7	2577	16279	84,3	7,9	140	883	4,6
5,9	0,145	1,1483	38,04	33,13	3,314	2,502	40,54	1,0343	114,6	184	8960	28,3	19,5	31	1523	4,8
11,2	0,276	1,1487	51,45	44,79	4,765	3,598	55,05	0,9729	239,7	278	12138	40,0	21,3	25	1080	3,6
18,7	0,458	1,1483	71,50	62,27	6,906	5,214	76,72	0,9329	370,6	447	16949	49,2	19,9	24	908	2,6
25,6	0,627	1,1454	90,47	78,99	9,791	7,392	97,86	0,8326	260,8	2890	19747	83,9	10,2	113	773	3,3
33,9	0,844	1,1447	118,21	103,27	13,953	10,535	128,75	0,7633	175,9	6234	23535	132,6	5,2	184	694	3,9

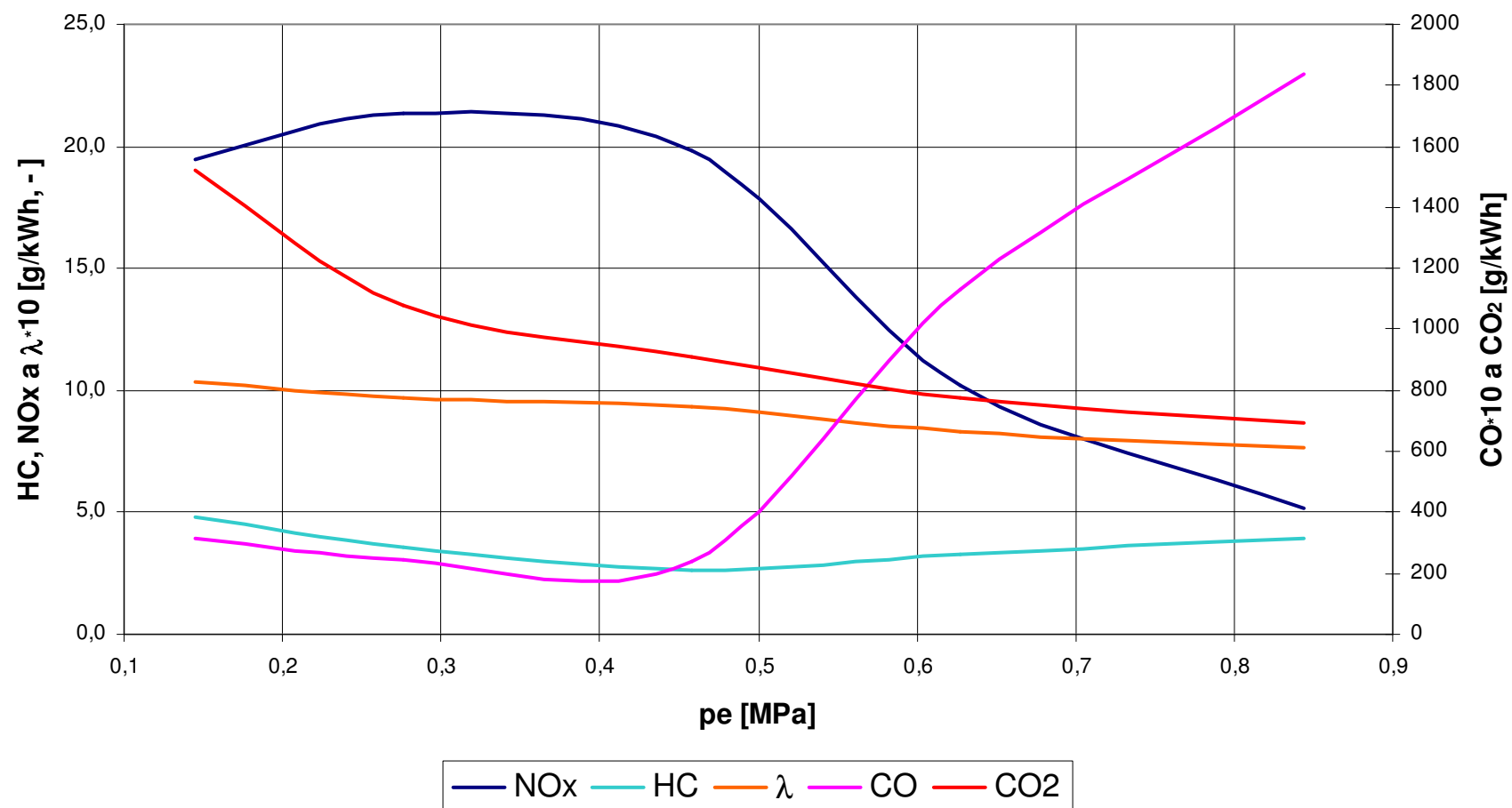
Tab. 2 Vypočtené hodnoty

Emise škodlivin pro otáčky 2000 min⁻¹



Graf 1. Závislost efektivního tlaku a emisí s λ při otáčkách $n = 2000 \text{ min}^{-1}$

Emise škodlivin pro otáčky 3500 min⁻¹



Graf 2. Závislost efektivního tlaku a emisí s lambdou při otáčkách $n = 3500 \text{ min}^{-1}$

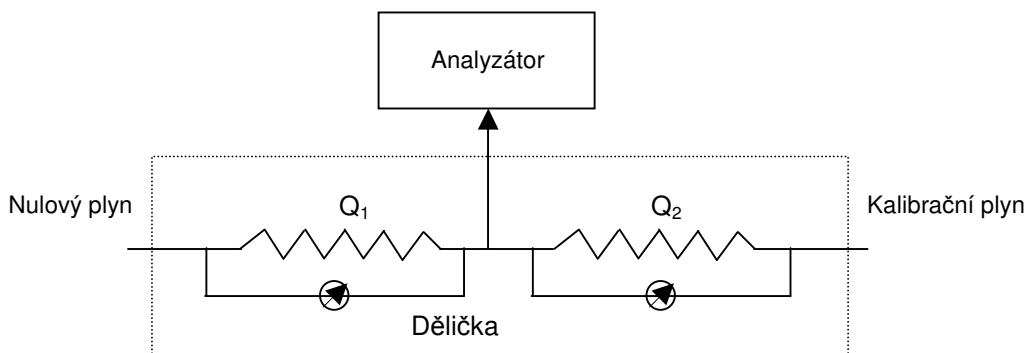
10.0. Cejchování analyzátorů

Při pořízení analyzátoru dostává uživatel přístroj, jehož elektronické obvody jsou seřizeny tak, že ukazovací přístroj vykazuje údaj v jednotkách koncentrace složky. Základní kalibraci analyzátoru provádí výrobce. Jestliže při kontrole linearizace nebo po zásahu do analyzátoru (opravě, výměně dílů) se zjistí odchylka zobrazených údajů od přímky (vznikne spojnicí nulového a koncového bodu měřicího rozsahu), která překračuje povolenou hodnotu o $\pm 2\%$, musíme udělat dodatečnou linearizaci. Linearitu přístroje je možno přezkoušet pomocí děliče plynů a kalibrační křivku použít na korekci naměřených hodnot.

Kalibrační křivka je určena deseti kalibračními body, které se rovnoměrně rozloží mezi nulou a max. hodnotou (dána koncentrací kalibračního plynu). Kalibrační plyn má mít koncentraci odpovídající 85 až 95 % měřicího rozsahu.

Kalibrační křivka se spočítá metodou nejmenších čtverců. Postupujeme od polynomu nejnižšího řádu k polynomu vyšších řádů dokud se nedosáhne toho, že se kalibrační křivka odchyluje od jmenovité hodnoty o méně než $\pm 2\%$.

K linearizaci potřebujeme děličku plynů, nulový a kalibrační plyn.



Obr. 27 Schéma děličky plynů Horiba GD – 03

Postup při linearizaci analyzátorů:

- na analyzátoru (zahřátý na provozní teplotu) nastavíme rozsah, který budeme linearizovat
- do děličky plynů přivedeme nulový a kalibrační plyn a děličku propojíme s analyzátozem
- pomocí škrtícího ventilu nastavíme průtok plynu, který odpovídá průtoku škodlivin při měření emisí

- pustíme do analyzátoru nulovací plyn
- nastavíme nulový bod pomocí potenciometru nebo automaticky pomocí funkčních kláves na přístroji
- pustíme do analyzátoru kalibrační plyn a nastavíme koncový bod, který odpovídá koncentraci kalibračního plynu
- provedeme funkční kontrolu nulového a koncového bodu
- pomocí děličky postupně přepouštíme ředěný kalibrační plyn do analyzátoru a odečítáme hodnoty z analyzátorů, které porovnáváme s údaji na děličce plynů
- po skončení měření necháme analyzátor propláchnout nulovým plynem
- uzavřeme tlakové láhve a odpojíme hadice

10.1 Cejchování vybraných analyzátorů

Pro cejchování jsme si připravili pět analyzátorů s různými složkami měření emisí. Jak se později ukázalo, tak z pěti přístrojů se podařilo provést cejchování pouze u tří analyzátorů a to u OXYMATu 5E (O₂), URASu 2T a Horiby VIA 510 (oba CO). U zbylých dvou analyzátorů nastaly určité problémy.

U analyzátoru FIDAS 2T (výr.číslo 31565804), který je umístěný v pojízdné skříni Schrank II se opakovaně nepodařilo zapálit plamen a uvést analyzátor do provozu.

U analyzátoru Horiba MEXA 574 GE se podařilo pouze překalibrování nulového a konečného bodu. Z kalibrace se zjistila závada kyslíkového čidla, které je nutné vyměnit. Překalibrování rozsahu analyzátoru u složky měření nespálených uhlovodíků se z neznámých důvodů nezdařilo. Kalibrační tabulka je znázorněna viz. Příloha 4.

Výsledky cejchování s výpočty koeficientů a grafickým znázorněním výsledků aproximace zbylých analyzátorů viz. Příloha 5 až 7. U analyzátoru URAS 2T se nepodařilo u druhé naměřené hodnoty ani po přepočítání s korekčními koeficienty dosáhnout hodnoty lišící se o $\pm 2 \%$ od jmenovité hodnoty. Proto doporučuji provést dodatečnou linearizaci pro tento analyzátor. U zbylých dvou analyzátorů proběhlo cejchování s výpočty úspěšně.

11.0. Závěr

V rámci této bakalářské práce bylo provedeno:

Teoretická část popisuje:

- charakteristiku plyných látek
- vznik a snižování plyných emisí
- seznámení s principy měření analyzátorů pro měření výfukových plynů
- seznámení s limity výfukových škodlivin
-

Praktická část se zabývá:

- vypracováním seznamu všech analyzátorů v laboratoři KVM s odkazem na cejchovní listy
- zapojením analyzátorů do sestavy s ověřením měření na motoru Škoda 1,4 MPI
- vyhodnocením měření
- cejchováním analyzátorů

Provedené experimenty:

- byl popsán postup kalibrace analyzátorů
- vyhodnocení naměřených dat s vypočtenými údaji a grafy, kdy se úspěšně ověřila funkčnost analyzátorů
- byl popsán postup cejchování analyzátorů
- bylo provedeno cejchování analyzátorů s výpočty korekčních koeficientů a grafickým znázorněním výsledků aproximace
- byla vypracována přehledná tabulka s údaji o přístrojích a popisem jmenovitých parametrů

Seznam použité literatury

- [1] Beroun, S.: Vozidlové motory
- [2] Takáts M.: Měření emisí spalovacích motorů
- [3] Bartovský T.: Analyzátory emisí (VUSTE Servis Praha 2004)
- [4] Metodika zkoušek č. MPAL 36/95, TU Liberec, 1995
- [5] Metodika zkoušek č. MP-03-95
- [6] Metodika zkoušek č. MP-04-95
- [7] www.bosch.cz
- [8] www.bencar.cz
- [9] Předpis EHK č. 49
- [10] Beroun S.: Nízkoemisní plynové zážehové motory

Přílohy:

Příloha 1. Typové listy analyzátorů

Příloha 2. Seznam analyzátorů v laboratoři KVM

Příloha 3. Schéma zapojení sestavy analyzátorů

Příloha 4. Kalibrační tabulka HORIBA MEXA 574 GE

Příloha 5. Cejchování analyzátoru OXIMAT 5E

Příloha 6. Cejchování analyzátoru URAS 2T

Příloha 7. Cejchování analyzátoru HORIBA VIA 510